



รายงานการวิจัย

โครงการวิจัยเรื่อง เครื่องประจุแบตเตอรี่แบบกำลังสูงสำหรับแบตเตอรี่แบบลิเทียม
ไอออนและแบบกรดตะกั่ว

High Power Factor Battery Charger for Lithium Ion and lead- Acid
Batteries

คณะผู้วิจัย

นายสรรพพล คุ่มทรัพย์

นายชาญฤทธิ์ ธาราสันติสุข

โครงการวิจัยทุนสนับสนุนงานวิจัยของมหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลกรุงเทพ

งบประมาณผลประโยชน์ ปี พ.ศ. 2554

มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลกรุงเทพ

กิตติกรรมประกาศ

ผู้วิจัยได้จัดทำเครื่องประจุแบตเตอรี่แบบค่าตัวประกอบกำลังสูงสำหรับใช้งานประจุ
แบตเตอรี่แบบลิเทียมไอออนและกรดตะกั่ว เพื่อช่วยสนับสนุนนักวิจัยที่ต้องการพัฒนางานวิจัย
เกี่ยวกับรถไฟฟ้าแบบต่างๆ โดยได้รับทุนอุดหนุนการวิจัยจากงบประมาณผลประโยชน์
มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลกรุงเทพ สาขาวิศวกรรมศาสตร์และอุตสาหกรรมวิจัย
ปีงบประมาณ 2554 ทั้งนี้ที่มวิจัยขอขอบคุณนักศึกษาวิชาวิศวกรรมไฟฟ้าสองท่านคือ นายสุวิทย์
เส้าเปาและนายเอกพันธ์ หาญสัมฤทธิ์ ที่ได้ช่วยเหลือในการจัดทำเครื่องต้นแบบและเก็บผลการ
ทดลอง



หัวข้อวิจัย	เครื่องประจุแบตเตอรี่แบบค่าตัวประกอบกำลังสูงสำหรับแบตเตอรี่แบบ ลิเทียมไอออนและแบบกรดตะกั่ว
ผู้วิจัย	นายสรรพล กลุ่มทรัพย์ นายชาญฤทธิ์ ธาราสันติสุข
สาขาวิชา	วิศวกรรมไฟฟ้า คณะวิศวกรรมศาสตร์
ปีงบประมาณ	2554

บทคัดย่อ

เครื่องประจุแบตเตอรี่โดยทั่วไปที่ใช้วงจรแปลงไฟสลับเป็นไฟตรงที่ประกอบด้วยอุปกรณ์เพียงไดโอดและตัวเก็บประจุ ซึ่งทำให้กระแสฮาร์มอนิกส์ทางด้านอินพุตมีค่าสูงเป็นสาเหตุทำให้ตัวประกอบกำลังมีค่าต่ำ และทำให้ระบบส่งจ่ายไฟฟ้ามีประสิทธิภาพลดลง

ดังนั้นงานวิจัยนี้จึงจัดทำเครื่องประจุแบตเตอรี่แบบค่าตัวประกอบกำลังสูง โดยใช้หลักการของวงจรแก้ไขตัวประกอบกำลังแบบบัส เป็นวงจรส่วนหน้าที่ทำหน้าที่ควบคุมกระแสที่ไหลเข้าให้เป็นรูปคลื่นไซน์และมีมุมเฟสเดียวกับแรงดัน ซึ่งมีผลทำให้ตัวประกอบกำลังดีขึ้น และกระแสฮาร์มอนิกส์ทางด้านอินพุตมีค่าลดลง จากนั้นสัญญาณทางด้านเอาต์พุตของวงจรแก้ไขตัวประกอบกำลังแบบบัส จะถูกส่งไปที่วงจรแปลงผันแบบฟลายแบ็กเพื่อลดระดับแรงดันลงให้เหมาะสมกับการประจุแบตเตอรี่ โดยใช้ไมโครคอนโทรลเลอร์ PIC เบอร์ 16F877A ควบคุมการทำงานและกำหนดสัญญาณพัลส์วิดท์มอดูเลชัน เพื่อส่งไปที่วงจรขับเคลื่อนของสวิตช์เพาเวอร์มอดเฟสของวงจรฟลายแบ็ก และรับค่าที่ผ่านการแปลงแอนะล็อกเป็นดิจิตอล เข้ามาทำการประมวลผลเพื่อควบคุมการประจุแบตเตอรี่ พร้อมทั้งแสดงผลผ่านจอ Graphic LCD

จากการทดสอบการทำงานของเครื่องประจุแบตเตอรี่สำหรับลิเทียมไอออนและกรดตะกั่ว โดยทำการประจุด้วยแรงดันคงที่อยู่ที่ประมาณ 15 โวลต์ และกระแสสูงสุดที่เริ่มประจุเท่ากับ 5.65 แอมป์ ใช้ระยะเวลาในการประจุอยู่ที่ประมาณ 6 ชั่วโมง และให้ค่าตัวประกอบกำลังเท่ากับ 0.98 มีค่ากระแสฮาร์มอนิกส์ (THD Current) เท่ากับ 20% ลดลง 45% เมื่อเปรียบเทียบกับกระแสฮาร์มอนิกส์ของเครื่องประจุแบตเตอรี่ที่ใช้วงจรเรียงกระแสแบบไม่มีการควบคุมซึ่งมีค่าเท่ากับ 44.69%

สารบัญ

หน้า

กิตติกรรมประกาศ	ข
บทคัดย่อ	ค
สารบัญ	ง
สารบัญตาราง	ช
สารบัญภาพ	ซ
บทที่ 1 บทนำ	
1.1 ความเป็นมาและความสำคัญของปัญหา	1
1.2 วัตถุประสงค์ของงานวิจัย	4
1.3 ขอบเขตของงานวิจัย	4
1.4 ขั้นตอนการดำเนินงาน	5
1.5 ประโยชน์ที่คาดว่าจะได้รับ	5
บทที่ 2 ทฤษฎี	6
แบตเตอรี่แบบกรดตะกั่ว	6
ตัวประกอบกำลัง	12
กระแสนินพุตของภาระแบบไม่เป็นเชิงเส้นและตัวประกอบกำลัง	15
ทฤษฎีวงจรแปลงผันแบบบูส	18
ตัวควบคุมแบบพีไอ	20
ทฤษฎีวงจรแปลงผันแบบฟลายแบค	23
หม้อแปลงสวิตชิง	24
มอสเฟตกำลัง	30
ภาระไม่เป็นเชิงเส้นและผลกระทบที่เกิดขึ้นกับโครงข่ายระบบจำหน่ายไฟฟ้า	33
มาตรฐานที่ใช้ควบคุมการแพร่กระจายของกระแสร่มอนิกส์	35
ชนิดของเครื่องประจุแบตเตอรี่	41
เทคนิคของการแก้ไขตัวประกอบกำลัง	43
บทที่ 3 ออกแบบงานวิจัย	53
ผังการดำเนินงาน	53

สารบัญ (ต่อ)

	หน้า
บทที่ 3 ขั้นตอนและวิธีการดำเนินงาน (ต่อ)	
การศึกษาข้อมูล	57
การออกแบบวงจรกำลังในส่วนของวงจรแก้ไขตัวประกอบกำลังแบบบูส	58
วงจรสร้างสัญญาณกระแสอ้างอิง	61
วงจรเปรียบเทียบแรงดันและควบคุมพีไอ	62
วงจรคูณสัญญาณ	64
วงจรฮิสเตอร์รีเซ็ต	65
วงจรขับเคลื่อน	65
ชุดจ่ายไฟเลี้ยง	66
วงจรวัดกระแส	67
วงจรตรวจจับแรงดัน	67
การออกแบบหม้อแปลงสวิตชิง	68
ออกแบบวงจรเรียงกระแสและกรองแรงดันเอาต์พุต	75
ออกแบบวงจรควบคุม	76
บทที่ 4 ผลการวิจัยและข้อวิจารณ์	80
การทดสอบเครื่องประจุแบตเตอรี่แบบตัวประกอบกำลังสูง	82
ผลการทดสอบสัญญาณต่าง ๆ ของโครงการ	83
บทที่ 5 สรุปผลการวิจัยและข้อเสนอแนะ	102
สรุปผลวิจัย	102
ปัญหาที่เกิดขึ้นในระหว่างการทำงานและแนวทางแก้ไข	103
ข้อเสนอแนะ	103
บรรณานุกรม	104

สารบัญ (ต่อ)

หน้า

ภาคผนวก

ภาคผนวก ก การวางอุปกรณ์และลายวงจรพิมพ์	108
ภาคผนวก ข การออกแบบกล่องบรรจุอุปกรณ์	112
ภาคผนวก ค โปรแกรมควบคุมการทำงาน	117
ภาคผนวก ง บทความวิชาการ	125



สารบัญตาราง

ตารางที่		หน้า
2.1	ข้อกำหนดสำหรับอุปกรณ์ในกลุ่ม A ของมาตรฐาน IEC 1000-3-2	39
2.2	ข้อกำหนดสำหรับอุปกรณ์ในกลุ่ม C ของมาตรฐาน IEC 1000-3-2	40
2.3	ข้อกำหนดสำหรับอุปกรณ์กลุ่ม D ของมาตรฐาน IEC 1000-3-2	40
2.4	สรุปเทคนิคการควบคุมกระแสในวงจรแก้ไขตัวประกอบกำลัง	52
3.1	ค่าพารามิเตอร์ของแกนแม่เหล็กเบอร์ E42/21/15	71



สารบัญภาพ

ภาพที่		หน้า
1.1	เครื่องประจุแบตเตอรี่ยี่ห้อ Super10 รุ่น S12A10 ที่ใช้วงจรเรียงกระแสที่ไม่มีการควบคุมกระแสทางด้านอินพุตให้เป็นไซน์	1
1.2	วงจรเครื่องประจุแบตเตอรี่ยี่ห้อ Super10 รุ่น S12A10 ที่ใช้วงจรเรียงกระแสที่ไม่มีการควบคุมกระแสอินพุตให้เป็นไซน์	2
1.3	รูปคลื่นของกระแสอินพุตและแรงดันอินพุตของเครื่องประจุแบตเตอรี่ยี่ห้อ Super10 รุ่น S12A10 ที่ใช้วงจรเรียงกระแสที่ไม่มีการควบคุมกระแสอินพุต	2
1.4	ค่าเพาเวอร์แฟกเตอร์ (PF or λ_2) ของเครื่องประจุแบตเตอรี่มีค่าเท่ากับ 0.5795	3
1.5	บล็อกไดอะแกรมของเครื่องประจุแบตเตอรี่แบบตัวประกอบกำลังสูง	4
2.1	วงจรอนุกรม RC	11
2.2	รูปคลื่นแรงดันและกระแสของวงจรอนุกรม RL	12
2.3	รูปคลื่นของกำลังไฟฟ้าชั่วขณะ	12
2.4	สามเหลี่ยมกำลัง	13
2.5	รูปคลื่นแรงดันอินพุตแรงดันเอาต์พุตและกระแสอินพุต	14
2.6	วงจรแปลงผันแบบบูส (Boost Converter)	16
2.7	รูปคลื่นแรงดันและกระแสของวงจรแปลงผันแรงดันแบบบูสที่ทำงานในโหมดกระแสต่อเนื่อง	17
2.8	บล็อกไดอะแกรมของตัวควบคุมแบบพีไอ	19
2.9	ผลตอบสนองต่อฟังก์ชันขั้นบันได ของตัวควบคุมแบบพีไอ	19
2.10	วงจรควบคุมแบบพีไอ	19
2.11	วงจรแปลงผันแบบฟลายแบค (Flyback Converter)	21
2.12	รูปคลื่นแรงดันกับกระแสที่จุดต่างๆขณะกำลังทำงานอยู่ในสถานะคงเดิม	22
2.13	เส้นโค้งฮิสเทอรีซิสของแกนเฟอร์ไรต์ที่เป็นเนื้อสารชนิด 3C8	23
2.14	ลักษณะที่สมบูรณ์ของเส้นโค้งฮิสเทอรีซิสซึ่งจะมีลักษณะสมมาตรของกราฟชีกบนและชีกล่าง	24
2.15	การกำหนดช่องว่างอากาศคั่น	25

สารบัญภาพ (ต่อ)

ภาพที่	หน้า
2.16 ความสัมพันธ์พื้นฐานของหม้อแปลง	27
2.17 ลักษณะการต่อขามอสเฟตกำลัง	28
2.18 ลักษณะของกระแสและแรงดันตกคร่อมเพาเวอร์มอสเฟต เมื่อเริ่มนำกระแสและเริ่มหยุดนำกระแส	29
2.19 วงจรเรียงกระแสแบบไดโอดบริดจ์ชนิด 1 เฟส	31
2.20 ขอบเขตของกระแสแหล่งจ่ายในกลุ่ม D ของมาตรฐาน IEC 1000-3-2	36
2.21 เครื่องประจุแบตเตอรี่แบบควบคุมด้วยขนาดแรงดัน	39
2.22 เครื่องประจุแบตเตอรี่แบบควบคุมมุมทริก	40
2.23 วงจรเครื่องประจุแบตเตอรี่แบบสวิตชิงแบบ Two-switch buck boost AC/DC converter and dual active bridge isolated bidirectional dc/dc converter (2SBBDAB)	41
2.24 เทคนิคการแก้ไขตัวประกอบกำลังแบบพาสซีฟ	43
2.25 บล็อกไดอะแกรมของแหล่งจ่ายกำลังไฟฟ้าแบบสองขั้นตอน	44
2.26 เทคนิคการแก้ไขตัวประกอบกำลังแบบแอ็กทีฟ	44
2.27 แบบแผนการควบคุมกระแสเฉลี่ย	46
2.28 แบบแผนการควบคุมขอบเขต	47
2.29 แบบแผนการควบคุมแบบตามแรงดัน	49
3.1 ขั้นตอนการดำเนินงาน	51
3.2 บล็อกไดอะแกรมการทำงานของวงจรเรียงกระแสเฟสเดียวที่มี กระแสอินพุตใกล้เคียงไซน์	55
3.3 วงจรกำลังของวงจรแก้ไขตัวประกอบกำลังแบบบูส	56
3.4 วงจรสร้างสัญญาณกระแสอ้างอิง	58
3.5 วงจรเปรียบเทียบแรงดันและวงจรควบคุมพีไอ	60
3.6 วงจรคูณสัญญาณ	60
3.7 วงจรฮิสเตอร์รีซีต	61
3.8 วงจรขับเคลื่อนด้วย TLP 250	62
3.9 ชุดวงจรจ่ายไฟเลี้ยง	62
3.10 อุปกรณ์และวงจรวัดกระแส	63

สารบัญภาพ (ต่อ)

ภาพที่	หน้า
3.11 อุปกรณ์และวงจรวัดแรงดัน	63
3.12 วงจรแปลงผันฟลายแบคควบคุมการทำงานโดยไมโครคอนโทรลเลอร์	64
3.13 ลำดับขั้นตอนการทำงานของโปรแกรมควบคุมการทำงานของฟลายแบคคอนเวอร์เตอร์	71
3.14 การต่อขาสัญญาณของ PIC16F877A	73
4.1 รูปด้านหน้าของเครื่องประจุแบตเตอรี่แบบตัวประกอบกำลังสูง	76
4.2 รูปด้านหลังของเครื่องประจุแบตเตอรี่แบบตัวประกอบกำลังสูง	77
4.3 รูปด้านบนของเครื่องประจุแบตเตอรี่แบบตัวประกอบกำลังสูง	77
4.4 รูปด้านขวาของเครื่องประจุแบตเตอรี่แบบตัวประกอบกำลังสูง	78
4.5 รูปคลื่นแรงดันอินพุต และสัญญาณกระแสอ้างอิง	80
4.6 รูปคลื่นกระแสอ้างอิง กระแสชดพลดเหนี่ยวนำและแรงดันทางด้านเอาต์พุตของ เครื่องประจุแบตเตอรี่แบบตัวประกอบกำลังสูง	81
4.7 แรงดันทางด้านเอาต์พุตของวงจรแก้ไขตัวประกอบกำลังแบบบูส (Boost PFC)	82
4.8 รูปคลื่นแรงดันตกคร่อมมอสเฟต และแรงดันนำจับเกต	83
4.9 รูปคลื่นของแรงดันไฟฟ้าและกระแสไฟฟ้าทางด้านเอาต์พุตของวงจรแปลง ผันไฟตรงเป็นไฟตรงแบบฟลายแบค ขณะอยู่ระหว่างที่ทำการประจุแบตเตอรี่	84
4.10 รูปถ่ายการทดสอบสัญญาณกระแสและแรงดันอินพุตของเครื่องประจุแบตเตอรี่ แบบตัวประกอบกำลังสูงเทียบ กับเครื่องประจุแบตเตอรี่ยี่ห้อ Super10 รุ่น S12A10 แบบเดิมที่ไม่มีการควบคุมกระแสอินพุตให้เป็นไซน์	85
4.11 วิธีการต่อวงจรเพื่อวัดสัญญาณแรงดันและกระแสอินพุตของเครื่องประจุแบตเตอรี่ แบบตัวประกอบกำลังสูงเข้ากับเครื่องวัด Power Analyzer รุ่น WT500	86
4.12 วิธีการต่อเพื่อวัดสัญญาณแรงดันและกระแสอินพุตของเครื่องประจุแบตเตอรี่ยี่ห้อ Super10 รุ่น S12A10 ที่ใช้วงจรเรียงกระแสที่ไม่มีการควบคุมกระแสอินพุตเข้ากับ เครื่องวัด Power Analyzer รุ่น WT500	86
4.13 สัญญาณแรงดันและกระแสอินพุตของเครื่องประจุแบตเตอรี่แบบตัวประกอบ กำลังสูง	87
4.14 สัญญาณแรงดันและกระแสอินพุตของเครื่องประจุแบตเตอรี่ยี่ห้อ Super10 รุ่น S12A10 ที่ใช้วงจรเรียงกระแสที่ไม่มีการควบคุมกระแสอินพุต	87

สารบัญภาพ (ต่อ)

ภาพที่	หน้า	
4.15	กระแสนินพุตของเครื่องประเภทเตอรีแบบตัวประกอบกำลังสูงและกระแสนินพุตของเครื่องประจุแบตเตอรี่ยี่ห้อ Super10 รุ่น S12A10ที่ใช้วงจรเรียงกระแสที่ไม่มีการควบคุมกระแสนินพุต	89
4.16	ผลการทดสอบหาค่าตัวประกอบกำลัง (PF or λ_1) และฮาร์โมนิกส์กระแสนินพุตลำดับต่างๆ ของเครื่องประจุแบตเตอรี่แบบตัวประกอบกำลังสูง(I_1)	90
4.17	ผลการทดสอบหาค่าตัวประกอบกำลัง (PF or λ_2) และฮาร์โมนิกส์กระแสนินพุตลำดับต่างๆ ของเครื่องประจุแบตเตอรี่ยี่ห้อ Super10 รุ่น S12A10(I_2)ที่ใช้วงจรเรียงกระแสที่ไม่มีการควบคุมกระแสนินพุต	91
4.18	วิธีการต่อวงจรเพื่อวัดสัญญาณแรงดันและกระแสเอาต์พุตของเครื่องประจุแบตเตอรี่แบบตัวประกอบกำลังสูงเข้ากับเครื่อง Power Analyzer รุ่น WT500	92
4.19	กำลังไฟฟ้าเอาต์พุต (P_{out}) ค่าตัวประกอบกำลัง (Power Factor) กระแสฮาร์โมนิกส์ (THD_i) เทียบกับเวลา (Time) ที่ทำการประจุแบตเตอรี่ของเครื่องประจุแบตเตอรี่แบบตัวประกอบกำลังสูง	96
4.20	กราฟตัวประกอบกำลัง (Power Factor) ของเครื่องประจุแบตเตอรี่แบบตัวประกอบกำลังสูง	97
4.21	กราฟกระแสฮาร์โมนิกส์ของเครื่องประจุแบตเตอรี่แบบตัวประกอบกำลังสูง	98
4.22	ค่ากระแสฮาร์โมนิกส์ (บน) ของเครื่องประจุแบตเตอรี่ยี่ห้อ Super10รุ่น S12A10 และ (ล่าง) ของเครื่องประจุแบตเตอรี่แบบตัวประกอบกำลังสูง	99
4.23	กราฟประสิทธิภาพของวงจรเครื่องประจุแบตเตอรี่แบบตัวประกอบกำลังสูง	100

บทที่ 1

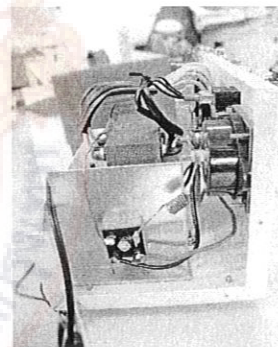
บทนำ

ในปัจจุบันเครื่องประจุแบตเตอรี่ทั่วไป ส่วนใหญ่จะการใช้การควบคุมอย่างง่ายและส่วนประกอบที่ไม่ซับซ้อน ซึ่งในวงจรเครื่องประจุแบตเตอรี่มีการใช้หม้อแปลงขนาดใหญ่และมีตัวประกอบกำลังไฟฟ้าต่ำ เนื่องจากเครื่องประจุแบตเตอรี่โดยทั่วไปที่ใช้งานต่อเข้ากับระบบจำหน่ายของการไฟฟ้าส่วนใหญ่แล้วจำเป็นต้องมีการแปลงผันกำลังไฟฟ้าก่อนเสมอ และปกติทั่วไปจะใช้วงจรเรียงกระแส(Rectifier Circuit) วงจรดังกล่าวมีผลทำให้กระแสอินพุตของวงจรมีลักษณะรูปคลื่นไม่เป็นสัญญาณไซน์ เนื่องจากมีคุณสมบัติของวงจรที่ไม่เป็นเชิงเส้น (Nonlinear Circuit) ส่งผลทำให้มีปริมาณกระแสฮาร์มอนิกส์แพร่กระจายเข้าไปในระบบจำหน่ายไฟฟ้าแล้วทำให้เกิดความผิดเพี้ยนของแรงดันขึ้นที่จุดต่อร่วมของระบบ

จากปัญหาฮาร์มอนิกส์ที่ทำให้กระแสและแรงดันในระบบไฟฟ้ามีขนาด และรูปร่างผิดเพี้ยนไปจากสภาพการจ่ายไฟปกตินั้น จึงหยิบยกตัวอย่างเครื่องประจุแบตเตอรี่ที่ใช้วงจรเรียงกระแสที่ไม่มีการควบคุม ยี่ห้อ Super10 รุ่น S12A10 เพื่อให้เห็นถึงปัญหาของการแปลงผันกำลังไฟฟ้าโดยใช้วงจรเรียงกระแส (Rectifier Circuit) ซึ่งแสดงดังรูปที่ 1.0

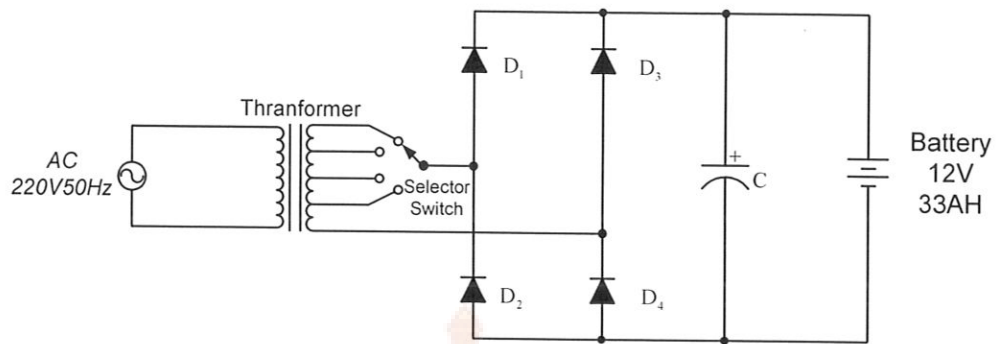


(ก) ภาพถ่ายด้านหน้าของเครื่อง

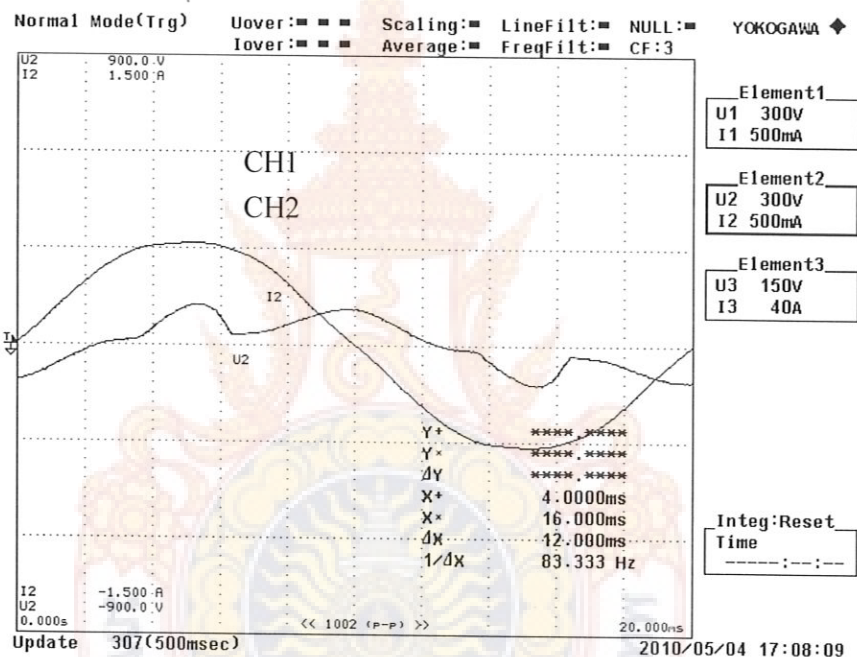


(ข) รูปถ่ายโครงสร้างภายในของเครื่อง

รูปที่ 1.0 รูปถ่ายของเครื่องประจุแบตเตอรี่ที่ใช้วงจรเรียงกระแส ยี่ห้อ Super10 รุ่น S12A10

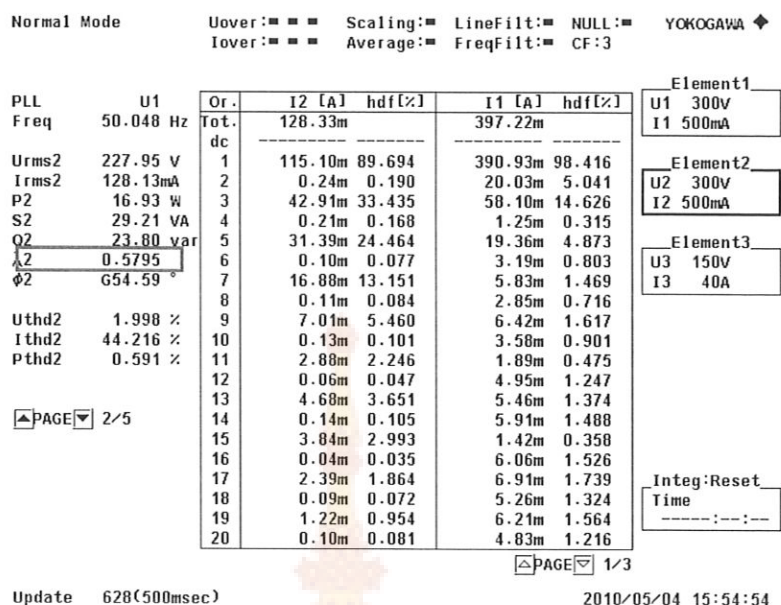


รูปที่1 (ต่อ) วงจรเครื่องประจุแบตเตอรี่ที่ใช้วงจรเรียงกระแส ซีหือ Super10 รุ่น S12A10



รูปที่1.1 รูปคลื่นของกระแสอินพุตและแรงดันอินพุตของเครื่องประจุแบตเตอรี่ที่ใช้วงจรเรียงกระแส ที่ไม่มีการควบคุม ซีหือ Super10 รุ่น S12A10

จากรูปที่1.1 CH1 เป็นรูปคลื่นแรงดันอินพุต และ CH2 เป็นรูปคลื่นของกระแสอินพุตจะเห็นว่ารูปคลื่นของกระแสอินพุตจะไม่เป็นรูปคลื่นไซน์และไม่อินเฟสกันเมื่อเทียบกับแรงดันอินพุต



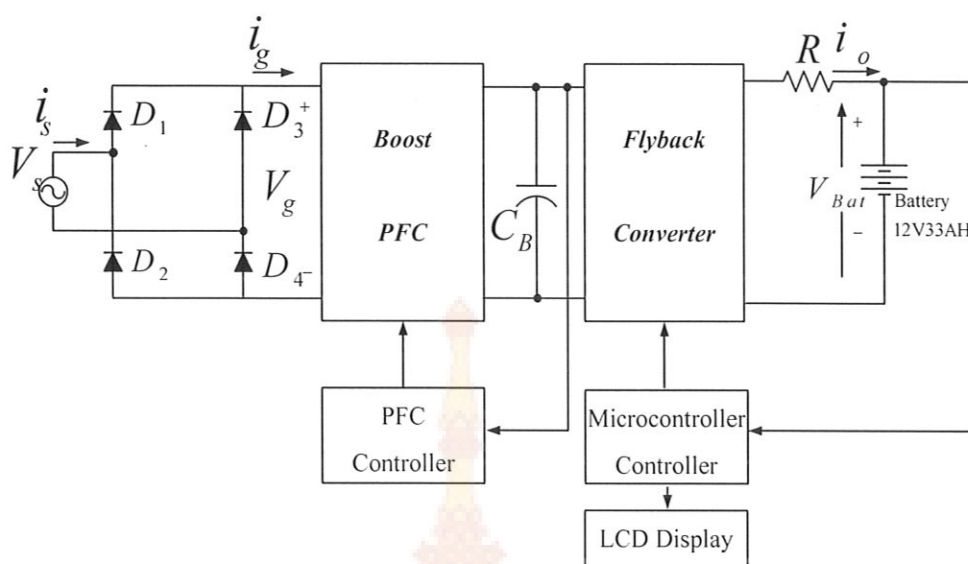
รูปที่ 1.2 ค่าเพาเวอร์แฟกเตอร์ (PF หรือ λ_2) ของเครื่องประจุแบตเตอรี่มีค่าเท่ากับ 0.5795

จากรูปที่ 1.2 จะสังเกตเห็นได้ว่าค่าเพาเวอร์แฟกเตอร์ (PF หรือ λ_2) ของเครื่องประจุแบตเตอรี่

ที่ใช้วงจรเรียงกระแสที่ไม่มีการควบคุมยี่ห้อ Super10 รุ่น S12A10 เท่ากับ 0.5795 ซึ่งเป็นค่าที่ต่ำเนื่องจากความผิดเพี้ยนของรูปคลื่นกระแสอินพุต และการไม่อินเฟสกันระหว่างแรงดันและกระแสทางด้านอินพุตจึงทำให้ระบบจำหน่ายไฟฟ้ามีคุณภาพกำลังไฟฟ้าลดลง

ดังนั้นจากปัญหาดังกล่าวงานวิจัยนี้ จึงใช้วิธีการปรับปรุงค่าตัวประกอบกำลัง เพื่อทำการแก้ไขค่าตัวประกอบกำลังที่อุปกรณ์เครื่องอัดประจุแบตเตอรี่ โดยการควบคุมกระแสที่ไหลเข้าตัวอุปกรณ์ให้มีรูปคลื่นใกล้เคียงไซน์ และมีค่ากระแสอินเฟสกับแรงดันอินพุต ซึ่งมีผลทำให้ค่าตัวประกอบกำลังดีขึ้นและช่วยลดฮาร์มอนิกส์ที่แพร่กระจายเข้าไปในระบบจำหน่ายไฟฟ้าลงได้

งานวิจัยนี้ได้นำเสนอเครื่องประจุแบตเตอรี่ที่มีค่าตัวประกอบกำลังสูง ซึ่งระบบประกอบด้วยส่วนสำคัญ 2 ส่วน คือ ส่วนแรกเป็นการแก้ไขตัวประกอบกำลังที่ใช้การควบคุมวงจรเรียงกระแสแบบบัสต์ ซึ่งทำหน้าที่เป็นวงจรส่วนหน้าเพื่อปรับปรุงรูปคลื่นกระแสอินพุตและส่วนที่สองเป็นการควบคุมแรงดันเอาต์พุตให้ได้แรงดันที่เหมาะสมกับการประจุแบตเตอรี่ โดยในที่นี้ได้มีการเลือกใช้วงจรแปลงผันไฟฟ้ากระแสตรงเป็นไฟฟ้ากระแสตรงแบบฟลายแบค ที่ควบคุมการสวิตช์โดยไมโครคอนโทรลเลอร์ และใช้ไมโครคอนโทรลเลอร์ประมวลผลรายงานสถานะของแบตเตอรี่ผ่านทางหน้าจอ LCD ดังแสดงในรูปที่ 1.3



รูปที่ 1.3 บล็อกไดอะแกรมของเครื่องประจุแบตเตอรี่แบบตัวประกอบกำลังสูง

1.1 วัตถุประสงค์ของงานวิจัย

1.1.1 เพื่อออกแบบและสร้างเครื่องประจุแบตเตอรี่แบบตัวประกอบกำลังสูงสำหรับแบตเตอรี่แบบกรดตะกั่วและลิเทียมไอออน

1.1.2 สร้างชุดควบคุมและแสดงผลด้วยไมโครคอนโทรลเลอร์เบอร์ PIC16F877

1.1.3 3 ทดสอบการใช้งานของเครื่องประจุแบตเตอรี่กับแบตเตอรี่แบบกรดตะกั่วและลิเทียมไอออน

1.1.4 บันทึกข้อมูลของฮาร์โมนิกส์ของกระแสด้านเข้าและการใช้งานของแบตเตอรี่

1.2 ขอบเขตของงานวิจัย

1.2.1 เครื่องประจุสามารถใช้กับแรงดันอินพุตไฟฟ้ากระแสสลับ 220V 50Hz

1.2.2 ค่าตัวประกอบกำลังไฟฟ้าของเครื่องขณะใช้งานอยู่ระหว่าง 0.8 ถึง 0.99

1.2.3 เครื่องประจุใช้วงจรแปลงผันไฟฟ้ากระแสสลับเป็นไฟฟ้ากระแสตรงแบบ Boost PFC

1.2.4 ใช้ไมโครคอนโทรลเลอร์เพื่อควบคุมกระแส แรงดันไฟฟ้าและสร้างสัญญาณ PWM สำหรับวงจรขับเคลื่อนเพื่อควบคุมการทำงานของวงจรแปลงผันแบบไฟตรงเป็นไฟตรง

1.2.5 รับคำสั่งโดยไมโครคอนโทรลเลอร์ เพื่อวัดระดับแรงดันไฟฟ้าของแบตเตอรี่รวมถึงแสดงสถานะ การประจุแบตเตอรี่ผ่านทางจอ LCD

1.2.6 มีคู่มือการใช้งานสำหรับบุคคลทั่วไป

1.3 ขั้นตอนการดำเนินงานวิจัย

1.3.1 ศึกษาทฤษฎีที่จำเป็นต้องใช้ในการออกแบบเครื่องประจุแบตเตอรี่แบบค่าตัวประกอบกำลังสูงใช้สำหรับรถไฟฟ้า

1.3.2 ศึกษาค้นหาข้อมูลของการเขียนโปรแกรม เพื่อสร้างสัญญาณ PWM ของ PIC16F877

1.2.3 สร้างชุดวงจรแปลงผันเพื่อแปลงไฟฟ้ากระแสสลับเป็นกระแสตรง

1.2.4 ทดสอบการทำงานพร้อมทั้งแก้ไขและปรับปรุงเครื่องประจุ

1.2.5 เก็บบันทึกผลทดสอบการประจุแบตเตอรี่ตลอดระยะเวลาจนแบตเตอรี่เต็ม

1.2.6 จัดทำคู่มือการใช้งาน

1.2.7 นำเสนอผลงานในงานประชุมวิชาการ

1.2.8 จัดทำรูปเล่มรายงานการวิจัย

1.4 ประโยชน์ที่คาดว่าจะได้รับ

1.4.1 ได้เครื่องประจุแบตเตอรี่แบบค่าตัวประกอบกำลังสูงสำหรับแบตเตอรี่แบบลิเทียมไอออนและแบบกรดตะกั่ว

1.4.2 ทำให้ระบบไฟฟ้ามีประสิทธิภาพในการจ่ายไฟฟ้ามายังขึ้นลดการชำรุดเสียหายของการทำงานที่ผิดปกติของอุปกรณ์ไฟฟ้าส่งผลให้เกิดผลดีต่อประเทศ

1.4.3 ได้ผลทดสอบกับแบตเตอรี่เพื่อเก็บเป็นข้อมูลสำหรับรถไฟฟ้าต่อไปในอนาคตได้

บทที่ 2

ทฤษฎี

ในการสร้างเครื่องประจุแบตเตอรี่แบบค่าตัวประกอบกำลังไฟฟ้าสูงจะต้องใช้ความรู้ในสิ่งต่างๆ ที่เกี่ยวข้องดังต่อไปนี้

1. แบตเตอรี่แบบกรดตะกั่ว
2. ค่าตัวประกอบกำลัง (Power Factor, PF)
3. กระแสอินพุตของภาระแบบไม่เป็นเชิงเส้นและตัวประกอบกำลัง
4. ทฤษฎีวงจรแปลงผันแบบบูส (Boost Converter)
5. ตัวควบคุมแบบสัดส่วนร่วมกับบูรณาการรวมหน่วย (PI Controller)
6. ทฤษฎีวงจรแปลงผันแบบฟลายแบค (Flyback Converter)
7. หม้อแปลงสวิตชิง
8. มอสเฟตกำลัง (POWER MOSFET)
9. ภาระไม่เป็นเชิงเส้นและผลกระทบที่เกิดขึ้นกับโครงข่ายระบบจำหน่ายไฟฟ้า
10. มาตรฐานที่ใช้ควบคุมการแพร่กระจายของกระแสฮาร์โมนิกส์
11. ชนิดของเครื่องประจุแบตเตอรี่
12. เทคนิคของการแก้ไขตัวประกอบกำลัง

1. แบตเตอรี่แบบกรดตะกั่ว

แบตเตอรี่ตะกั่วกรดเป็นแบตเตอรี่แบบชาร์จได้ที่เก่าแก่ที่สุดในบรรดาแบตเตอรี่ด้วยกัน ประดิษฐ์ขึ้นมา โดยแกสตัน พลองด์ (Gaston Plante) นักฟิสิกส์ชาวฝรั่งเศสตั้งแต่ปี ค.ศ.1859 (พ.ศ. 2402) เป็นแบตเตอรี่แบบชาร์จได้ชนิดแรกที่ทำออกมาเพื่อการค้า และในปัจจุบันยังมีการใช้งานกันอยู่อย่างแพร่หลาย โดยมักจะทำเป็นแบตเตอรี่ที่มีความจุ (Capacity) สูง ๆ ที่ให้กระแสได้มาก เนื่องจากมีต้นทุนในการเก็บพลังงานถูกกว่าแบตเตอรี่ชาร์จได้ชนิดอื่น ๆ นิยมใช้กันในรถยนต์และยานพาหนะต่าง ๆ (Vehicle), รถยกไฟฟ้า (Fork Lift), รถเข็น (Wheel Chair), สกู๊ตเตอร์ (Scooter), รถกอล์ฟ (Golf Car), ระบบสำรองไฟฟ้า (UPS) และระบบไฟแสงสว่างฉุกเฉิน (Emergency Light)

ในตอนแรกแบตเตอรี่ตะกั่วกรดที่ผลิตออกมาจำหน่ายมีเฉพาะที่เป็นแบตเตอรี่แบบเปียก (Flooded Type หรือ Wet Type) ที่ต้องคอยเติมน้ำกลั่นเท่านั้น จนกระทั่งในช่วงกลางของทศวรรษที่ 70 (ระหว่างปี พ.ศ.2513-2523) ได้มีการพัฒนาแบตเตอรี่ตะกั่วกรดแบบแห้งให้ใช้งานได้หลังจากที่

มีการจดสิทธิบัตรมาตั้งแต่ปี ค.ศ.1957(พ.ศ.2500) โดยอ็อตโต จาเช่ (Otto Jache) ทำให้การใช้งานสะดวกขึ้นสามารถวางตำแหน่งของแบตเตอรี่ได้หลายรูปแบบมากขึ้น วางนอนหรือวางตะแคงได้ (แต่ห้ามวางกลับหัว) ไม่จำเป็นต้องวางในแนวตั้งเพียงอย่างเดียวเพราะอิเล็กโทรไลต์ที่เป็นน้ำกรดจะไม่ไหลหกออกมาเหมือนแบตเตอรี่แบบเปียก ซึ่งเทคนิคในการทำให้ น้ำกรดไม่ไหลออกมา คือการใช้วัสดุดูดซับน้ำกรดเอาไว้ จากนั้นจึงทำการผนึกเซลล์ (Seal) ให้ปิดสนิทเพื่อป้องกันการระเหยของน้ำและแก๊ส ซึ่งเป็นส่วนประกอบของน้ำกรด แบตเตอรี่จึงไม่มีการสูญเสียอิเล็กโทรไลต์ออกไปจากแบตเตอรี่

1.1 การแบ่งประเภทของแบตเตอรี่ตะกั่วกรด

แบตเตอรี่แบบแห้งจะแบ่งเป็น 2 ประเภท คือประเภทที่ใช้เจลเป็นวัสดุดูดซับกรดเรียกว่า แบตเตอรี่แบบเจล (Gel Battery or Gel Cell) และประเภทที่ใช้แผ่นซิลิกาไฟเบอร์เป็นตัวดูดซึม เรียกว่า แบตเตอรี่แบบ AGM (AGM Battery) ซึ่งลักษณะการแบ่งประเภทแบบนี้เป็นการแบ่งตามลักษณะโครงสร้างทางกายภาพ ของแบตเตอรี่แต่การแบ่งประเภทของแบตเตอรี่ตะกั่วกรดยังแบ่งได้อีกลักษณะหนึ่งคือ การแบ่งประเภทตามลักษณะการใช้งาน โดยจะแบ่งเป็นแบตเตอรี่แบบใช้งานทั่วไป หรือแบบที่ใช้สำหรับสตาร์ทเครื่องยนต์ แบบคายประจุลึกและแบบลูกผสม

ความแตกต่างระหว่างแบตเตอรี่แบบเจลและแบบ AGM คือแบตเตอรี่แบบเจลจะเป็นแบตเตอรี่ที่แห้งกว่าแบบ AGM ถ้าเปลือกนอกของมันแตกจะไม่มีน้ำกรดไหลหรือซึมออกมา แต่สำหรับแบบ AGM จะซับน้ำกรดได้ประมาณ 95% ดังนั้นถ้าเปลือกของมันแตกเมื่อน้ำกรดจะไหลออกมา แต่ก็อาจจะมีการซึมออกมาได้บ้างเล็กน้อย

ในปัจจุบันจะนิยมใช้แบตเตอรี่ตะกั่วกรดแบบ AGM มากกว่าแบบเจล ส่วนแบบเจลมีการใช้น้อยลงเนื่องจากมีข้อเสีย คือ เจลมักจะละลายเมื่ออยู่ในสภาพอากาศที่ร้อนและถ้าเกิดการโอเวอร์ชาร์จขึ้นเจลอาจจะเปลี่ยนรูปเป็นสารเหนียว ๆ ที่เรียกว่า วอยด์(Void) ไปเกาะติดแน่นอยู่ที่แผ่นธาตุขัดขวางการแลกเปลี่ยนประจุระหว่างอิเล็กโทรไลต์และแผ่นธาตุ ทำให้ประสิทธิภาพของแบตเตอรี่ลดลง

แบตเตอรี่ทั้งแบบ AGM และแบบเจลยังแบ่งย่อยออกได้เป็นแบตเตอรี่ตะกั่วกรดแบบปิดผนึกหรือ SLA (Sealed Lead Acid) และแบบปิดผนึกที่มีวาล์วระบายแรงดันหรือ VRLA (Valve Regulator Lead Acid) แบตเตอรี่แบบ VRLA นี้จะมี การติดตั้งเซฟตี้วาล์ว (Safety Valve) เพื่อใช้ระบายแก๊สในกรณีที่ความดันภายในเซลล์สูงเกินไป เพื่อป้องกันแบตเตอรี่เสียหาย

การชาร์จแบตเตอรี่ทั้ง 2 ประเภท คือ SLA and VRLA จะต้องไม่ชาร์จเร็วหรือมากเกินไป เพื่อป้องกันไม่ให้เกิดแก๊สในขณะชาร์จมากนัก การชาร์จมากหรือเร็วเกินไปจะทำให้

ปฏิกิริยาเคมีภายในเซลล์ดูดซับแก๊สที่เกิดขึ้นไม่ทัน ความดันภายในแบตเตอรี่จะสูงขึ้นเป็นสาเหตุให้เกิดการสูญเสียแก๊สและน้ำออกไปจากตัวแบตเตอรี่ การเสียแก๊สและน้ำออกไปก็เท่ากับว่าแบตเตอรี่ได้สูญเสียอิเล็กโทรไลต์ออกไปจากระบบ เพราะแก๊สและน้ำเป็นส่วนประกอบของอิเล็กโทรไลต์ เมื่อแบตเตอรี่มีปริมาณอิเล็กโทรไลต์น้อยลงจะสูญเสียความสามารถในการเก็บพลังงานไป ทำให้แรงดันไฟฟ้าหรือโวลต์ของแบตเตอรี่หลังจากการชาร์จไม่สูงเท่าที่ควรจะเป็น และถ้าแบตเตอรี่มีการเสียแก๊สและน้ำบ่อย ๆ อิเล็กโทรไลต์ภายในเซลล์ก็จะหมดไปทำให้แบตเตอรี่ใช้งานไม่ได้อีก

1.2 วิธีการใช้และเก็บรักษาแบตเตอรี่ตะกั่วกรด

แบตเตอรี่ตะกั่วกรดจะไม่มีการจำว่า ก่อนชาร์จแบตเตอรี่มีประจุเหลืออยู่เท่าไรหรือเมมโมรีเอฟเฟกต์ (Memory Effect) ต่างจากแบตเตอรี่แบบนิกเกิลแคดเมียม ถ้าแบตเตอรี่มีประจุเต็มอยู่แล้ว การนำไปชาร์จโดยการให้กระแสต่ำ ๆ ไปเรื่อย ๆ แบตเตอรี่จะไม่เสีย แต่มันไม่ชอบการคายประจุที่ลึกมาก ๆ โดยเฉพาะการคายประจุจนหมด ทุกครั้งที่เราดีสชาร์จมันลึกมาก ๆ จะทำให้ความสามารถในการเก็บประจุของมันลดลง ส่งผลให้อายุการใช้งานสั้นลง ดังนั้น ถ้าจำเป็นต้องใช้งานจนแบตเตอรี่ประจุหมดบ่อย ๆ ควรป้องกันการคายประจุที่ลึกมากเกินไป โดยเลือกใช้แบตเตอรี่ที่มีขนาดใหญ่ ขึ้นความจุสูงขึ้น (แอมป์ชั่วโมงมากขึ้น) เพื่อไม่ให้แบตเตอรี่คายประจุลึกมากนัก

การทิ้งแบตเตอรี่ตะกั่วกรดไว้เฉย ๆ เป็นเวลานานแบตเตอรี่จะคายประจุออกไปเรื่อย ๆ ด้วยตัวมันเอง (Self Discharge) ถ้าไม่ชาร์จเพื่อเติมประจุให้กับแบตเตอรี่ผลึกของตะกั่วซัลเฟตที่เกิดขึ้นที่แผ่นธาตุลบจะรวมตัวกันแล้วมีขนาดใหญ่ขึ้น ผลึกที่มีขนาดใหญ่นี้จะไปขัดขวางการไหลของกระแสทำให้กระแสไหลได้น้อยลง ส่งผลให้แบตเตอรี่จ่ายกระแสให้กับโหลดได้น้อยลง นอกจากนี้ผลึกที่มีขนาดใหญ่จะมีเหลี่ยมหรือมุมที่คมและแหลม ในกรณีที่ร้านแรงอาจจะทิ่มจนแผ่นธาตุทะลุได้ ทำให้แบตเตอรี่เกิดการลัดวงจรขึ้นภายในเราจะเรียกปรากฏที่เกิดผลึกขนาดใหญ่ของตะกั่วซัลเฟตนี้ว่าการเกิดซัลเฟชัน (Sulphation)

การเกิดซัลเฟชันจะยิ่งง่ายขึ้นถ้าทิ้งแบตเตอรี่ไว้โดยที่มันมีประจุเหลือน้อยหรือไม่เหลืออยู่เลย ดังนั้นจึงควรเก็บแบตเตอรี่ไว้โดยการชาร์จให้ประจุเต็มอยู่เสมอ โดยอาจจะชาร์จเต็มประจุโดยใช้กระแสต่ำ ๆ ไปเรื่อย ๆ ซึ่งเรียกว่าทริกเกิลชาร์จ หรือ โฟลทชาร์จซึ่งการชาร์จแบบนี้ มักจะพบในระบบสำรองไฟฟ้าหรือระบบไฟส่องสว่างฉุกเฉิน เพื่อให้แบตเตอรี่มีประจุอยู่เต็มตลอดเวลาเป็นการรักษาแบตเตอรี่และทำให้แบตเตอรี่พร้อมที่จะจ่ายพลังงานเมื่อระบบไฟฟ้าหลักขัดข้องหรือจ่ายกระแสให้กับระบบไฟส่องสว่างเมื่อเกิดเหตุฉุกเฉินหรือไฟฟ้าดับ

การชาร์จแบตเตอรี่ตะกั่วกรดโดยทั่วไปใช้เวลาประมาณ 8-16 ชั่วโมงโดยแบตเตอรี่แบบแห้งจะชาร์จได้ช้ากว่าแบบเปียก เพราะจะต้องลดอัตราการชาร์จลงเพื่อไม่ให้เกิดแก๊สขึ้นภายในเซลล์มากเกินไป การสะสมของแก๊สจะทำให้ความดันภายในเซลล์สูงขึ้น ทำให้สูญเสียอิเล็กโทรไลต์ไปจากการระเหยแก๊สหรือน้ำออกทางรูระบายหรือเซฟตี้วาล์ว หรืออาจทำให้แบตเตอรี่ถึงขั้นแตกเสียหายได้ถ้าชาร์จเร็วสูงทำให้ความดันสูงไปด้วยจนเซฟตี้วาล์วระบายความดันไม่ทัน

1.3 เรื่องของแผ่นธาตุ

แผ่นธาตุของแบตเตอรี่ที่เสื่อมสภาพจากปัจจัยต่าง ๆ เช่นจากการใช้งานมาเป็นเวลานาน หรือการบำรุงรักษาการใช้งานที่ไม่ถูกต้องแบตเตอรี่จะแสดงพฤติกรรมเหมือนกับแบตเตอรี่ที่ยังดีอยู่ คือยังคงเหมือนว่ามีประจุอยู่เต็มแต่ในความเป็นจริงความจุของมันจะลดลง (เหมือนใช้แบตเตอรี่ที่ขนาดเล็กลง) แบตเตอรี่ยังสามารถทำงานได้อยู่แต่ประจุจะหมดเร็วขึ้นหรืออาจจะจ่ายกระแสได้ไม่เพียงพอกับความ ต้องการของอุปกรณ์

เพื่อเป็นการเพิ่มอายุการใช้งานของแผ่นธาตุในบางครั้งจะมีการเติมสารตัวอื่นเข้าไปในแผ่นธาตุด้วย เช่นแบบ AGM อาจจะใช้แผ่นธาตุที่เป็นตะกั่วแคลเซียม (Lead Calcium) หรือแบตเตอรี่แบบคายประจุได้ลึก ที่ใช้ในโรงงานอุตสาหกรรม หรือในรถยนต์ไฟฟ้า จะใช้แผ่นธาตุชนิดตะกั่วพลวง ซึ่งสารที่ใช้ทำแผ่นธาตุมักจะเขียนบอกอยู่ที่เปลือกของแบตเตอรี่สำหรับแบตเตอรี่ที่ใช้แผ่นธาตุชนิดตะกั่วพลวงนอกจากจะทำให้อายุการใช้งานของแผ่นธาตุมากขึ้นแล้ว แผ่นธาตุยังมีความแข็งแรงทางกลเพิ่มขึ้นอีกด้วยเหมาะกับการใช้งานในรถยนต์ไฟฟ้า หรืออุปกรณ์ที่ต้องการเคลื่อนที่อยู่ตลอดเวลา แต่ก็มีข้อเสียคือแบบตะกั่วพลวงนี้จะมีอัตราคายประจุด้วยตัวมันเองมากและมีการสูญเสียน้ำและแก๊สมาก ทำให้ต้องตรวจสอบระดับของน้ำกรดและเติมน้ำกลั่นบ่อยกว่าแบบที่ใช้แผ่นธาตุเป็นตะกั่วหรือตะกั่วแคลเซียม

1.4 อัตราการคายประจุ

อัตราการคายประจุหรืออัตราการคายประจุ หรือที่เรียกว่า ซีเรต ของแบตเตอรี่ตะกั่วกรดไม่ควรเกิน 0.2 C หรือ 20% ของความจุ ถ้าอัตราการคายประจุมากขึ้นประสิทธิภาพของมันจะลดลง แต่อย่างไรก็ตามก็ไม่ควรจะคายประจุในอัตราที่มากกว่า 1 C สรุปก็คือแบตเตอรี่แบบตะกั่วกรดนี้ชอบคายประจุน้อยนิดหน่อยแล้ว ก็ชาร์จก็จะทำให้มันมีอายุยืนยาวกว่าการคายประจุมาก ๆ หรือการใช้ประจุจนหมดแล้วจึงชาร์จ

รอบของการใช้งานโดยทั่วไปอยู่ที่ประมาณ 200-300 รอบขึ้นอยู่กับลักษณะการใช้งาน ความลึกของการคายประจุหรือเรียกย่อว่า DOD, การชาร์จ การบำรุงรักษาและอุณหภูมิในการใช้งานสาเหตุหลักที่ทำให้แบตเตอรี่อายุการใช้งานลดลงก็คือการกักครอนที่แผ่นธาตุบวก ซึ่งการกักครอนนี้จะมากขึ้นที่อุณหภูมิสูงขึ้น

1.5 อุณหภูมิกับอายุการใช้งาน

อุณหภูมิที่เหมาะสมในการใช้งานอยู่ที่ 25 องศา (77 ฟาเรนไฮต์) อุณหภูมิที่เพิ่มขึ้นทุก ๆ 8 องศา (15 ฟาเรนไฮต์) จะทำให้อายุการใช้งานของแบตเตอรี่ลดลงครึ่งหนึ่ง เช่น แบตเตอรี่แบบ VRLA จะมีอายุถึง 10 ปีที่อุณหภูมิ 25 องศา แต่จะลดลงเหลือ 5 ปี ที่อุณหภูมิ 33 องศา (95 ฟาเรนไฮต์) และอายุเหลือไม่ถึง 1 ปีที่อุณหภูมิ 42 องศา (107 ฟาเรนไฮต์) นอกจากนี้มันยังทำงานได้ไม่ดีในที่อุณหภูมิต่ำอีกด้วยอุณหภูมิที่ลดต่ำลงจะทำให้แบตเตอรี่เก็บประจุได้น้อยลง ความจุของแบตเตอรี่จะลดลง 50 % ทุกๆ อุณหภูมิที่ต่ำลง 12 องศา (22 ฟาเรนไฮต์) ซึ่งเป็นเหตุผลที่ว่าทำไมในตอนเช้าที่อากาศเย็นเราถึงสตาร์ทรถติดได้ยากแต่การใช้งานที่อุณหภูมิต่ำก็จะทำให้อายุการใช้งานของมันยาวนานมากขึ้นด้วยเช่นกัน

1.6 การเก็บรักษาแบตเตอรี่

การคายประจุโดยตัวมันเอง (Self Discharge) น้อยมาก ถ้าเป็นแบตเตอรี่แบบเปียกอัตราการคายประจุประมาณ 40% ต่อปี (เทียบกับนิกเกิลแคดเมียมที่มีอัตราการคายประจุโดยตัวมันเองอยู่ที่ 20% ต่อเดือน) ส่วนแบตเตอรี่แบบแห้งจะมีอัตราการคายประจุน้อยกว่าแบบเปียกโดยเฉพาะแบตเตอรี่ AGM รุ่นใหม่ๆ บางชนิด อัตราการคายประจุด้วยตัวมันเองจะไม่เกิน 2% ต่อเดือน นอกจากนี้แบตเตอรี่แบบตะกั่วกรดถึงจะมีราคาถูกแต่ถ้าเป็นแบตเตอรี่แบบที่ต้องเติมน้ำกลั่นก็จะมีค่าใช้จ่ายในการดูแลรักษาเพิ่มขึ้นมา ก็ต้องคอยตรวจสอบระดับของน้ำกรดเพื่อเติมน้ำกลั่นเมื่อระดับของน้ำกรดต่ำเกินไปและต้องหมั่นทำความสะอาดรอบๆ ที่อาจจะเกิดเนื่องจากการกักครอนของกรด อีกทั้งยังต้องระวังในเรื่องสถานที่ตั้งของแบตเตอรี่ด้วย ไม่ควรตั้งไว้ใกล้แหล่งความ

ร้อนหรือประกายไฟเพราะในขณะชาร์จ (โดยเฉพาะถ้าชาร์จโดยเปิดฝาปิดของแบตเตอรี่) จะเกิดแก๊สไฮโดรเจนขึ้นอาจทำให้ระเบิดได้

ถ้าเปรียบเทียบกับแบตเตอรี่ชาร์จได้ชนิดใหม่ ๆ แล้วที่น้ำหนักเท่า ๆ กันแบตเตอรี่แบบกรดตะกั่วจะมีความสามารถในการเก็บประจุได้น้อยกว่า จึงไม่เหมาะที่จะนำมาทำเป็นแบตเตอรี่สำหรับอุปกรณ์พกพาซึ่งต้องการแบตเตอรี่ที่มีขนาดเล็กและน้ำหนักเบา เพราะจะทำให้กำลังไฟได้น้อย ทำให้ต้องชาร์จแบตเตอรี่บ่อยจนเกินไป หรือทำให้อุปกรณ์มีน้ำหนักมากจนเกินไป แต่เนื่องจากราคาค้นทุนต่อพลังงานที่ได้ต่ำกว่าแบตเตอรี่ชาร์จได้ชนิดอื่นจึงนิยมนำมาทำแบตเตอรี่ขนาดใหญ่ที่มีความจุมาก หน่วยความจุของแบตเตอรี่ตะกั่วกรดโดยทั่วไปจะวัดเป็นแอมป์ชั่วโมง (Amp-Hour or Ah) ในขณะที่แบตเตอรี่ชาร์จได้แบบอื่นส่วนมากจะใช้หน่วยเป็นมิลลิแอมป์ชั่วโมง (mAh) เนื่องจากเป็นแบตเตอรี่ขนาดเล็กมีขนาดความจุต่ำกว่าแบตเตอรี่แบบกรดตะกั่วนั่นเอง

1.7 อันตรายและการนำกลับมาใช้ใหม่

ด้านความเป็นพิษต่อสิ่งแวดล้อม แบตเตอรี่ตะกั่วกรดแม้จะมีอันตรายน้อยกว่าแบตเตอรี่นิกเกิล-แคดเมียม แต่ตะกั่วซึ่งเป็นโลหะหนักและกรดซัลฟิวริกก็ยังเป็นอันตรายต่อสิ่งมีชีวิตและสิ่งแวดล้อมรวมทั้งเปลือก ซึ่งทำจากพลาสติกที่มีความยืดหยุ่นจำพวกเอบีเอส (ABS) เพียง 45% หรือขวดแก้วที่ได้เพียง 26% เท่านั้น

ข้อดี

- ราคาถูกกว่าแบตเตอรี่ชนิดอื่นและสามารถผลิตได้ง่าย
- มีการพัฒนามานานแล้ว จึงมีความเชื่อถือได้และหาข้อมูลได้ง่าย
- ถ้าใช้อย่างถูกต้องจะทนทานมาก
- การคายประจุโดยตัวมันเอง (Self Discharge) น้อย
- ไม่ต้องการการบำรุงรักษามากนักโดยเฉพาะแบตเตอรี่แบบแห้ง
- ไม่เกิดการจดจำ (No Memory Effect)
- สามารถให้กระแสดีชาร์จได้มาก
- มีขนาดให้เลือกมาก

ข้อด้อย

- ความจุของพลังงานต่อน้ำหนักด่ำทำให้มีน้ำหนักมาก
- ไม่สามารถเก็บไว้ได้โดยแบตเตอรี่ไม่มีประจุ เพราะจำทำให้แบตเตอรี่เสื่อมสภาพเร็ว
- ตะกั่วและกรดซึ่งเป็นส่วนประกอบหลักเป็นพิษกับสิ่งแวดล้อม

- มีระเบียบที่เข้มงวดในการขนส่งโดยเฉพาะแบตเตอรี่แบบเปียก เพราะอาจเกิดการหก หรือซึมของกรดออกจากเปลือก แบตเตอรี่ได้

1.8 ค่าตัวประกอบกำลัง (Power Factor, PF) [1]

จากทฤษฎีวงจรไฟฟ้าเราทราบว่า ถ้าแหล่งจ่ายแรงดันไฟฟ้ากระแสสลับที่มีรูปคลื่นไซน์มีภาระที่เป็นอุปกรณ์ที่ประกอบด้วยตัวต้านทาน ตัวเหนี่ยวนำ และตัวเก็บประจุ (RLC) แล้ว กระแสไฟฟ้าของวงจรยังมีรูปคลื่นไซน์เช่นกัน แต่อาจมีมุมต่างเฟสที่แตกต่างกันระหว่างแรงดันและกระแสได้ ตัวอย่างเช่นวงจรในรูปที่ 2.0 เมื่อภาระของวงจรประกอบด้วย RL ความสัมพันธ์ระหว่างแรงดันและกระแสของวงจรแสดงดังรูปที่ 2.1 เฟสของกระแสและแรงดันอาจต่างกันด้วยมุม ϕ ซึ่งขึ้นอยู่กับ R และ L ของวงจร ถ้ากำหนดให้แรงดันแหล่งจ่ายเป็นรูปคลื่นไซน์ที่ไม่ผิดเพี้ยนและค่าชั่วขณะแสดงได้โดยสมการ

$$V_s = \hat{V}_s \sin \omega_o t \quad (2-1)$$

กระแสไฟฟ้าชั่วขณะของวงจร จะล่าหลัง ด้วยมุม ϕ ซึ่งสามารถเขียนเป็นสมการได้คือ

$$i_s = \hat{I}_s \sin(\omega_o t - \phi) \quad (2-2)$$

โดยที่ V_s และ i_s แทนแรงดันไฟฟ้าชั่วขณะของแหล่งจ่ายและกระแสไฟฟ้าขาเข้าชั่วขณะตามลำดับ $\hat{V}_s$ และ $\hat{I}_s$ แทนค่ายอดของแรงดันไฟฟ้าของแหล่งจ่าย และค่ายอดของกระแสไฟฟ้าขาเข้าตามลำดับความสัมพันธ์ระหว่าง แรงดันแหล่งจ่าย V_s และกระแสขาเข้าของวงจร i_s นำมาสร้างเป็นทอมของกำลัง (Power) ได้โดยมีนิยามดังต่อไปนี้ คือ

กำลังไฟฟ้าชั่วขณะ (Instantaneous Power, P) เป็นผลคูณระหว่างแรงดันไฟฟ้าชั่วขณะ V_s สมการที่ (2-1) และกระแสไฟฟ้าชั่วขณะ I_s สมการที่ (2-2) ซึ่งมีค่าคือ

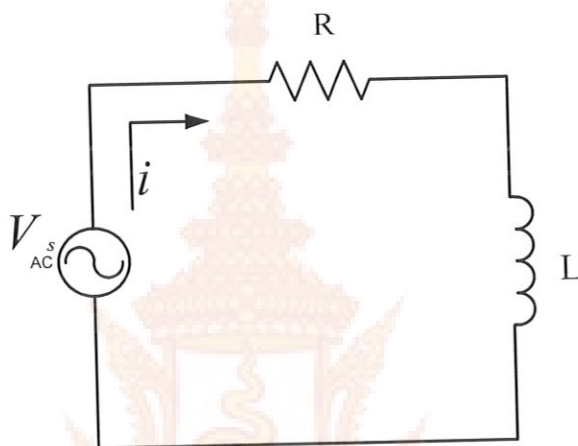
$$P = V_s I_s \cos \phi (1 - \cos 2\omega_o t) - V_s I_s \sin \phi (\sin 2\omega_o t) \quad (2-3)$$

เมื่อ V_s และ I_s เป็นค่า RMS ของแรงดันไฟฟ้าและกระแสไฟฟ้าตามลำดับการเปลี่ยนแปลงของค่ากำลังไฟฟ้าชั่วขณะนี้แสดงได้ดังรูปที่ 2.2

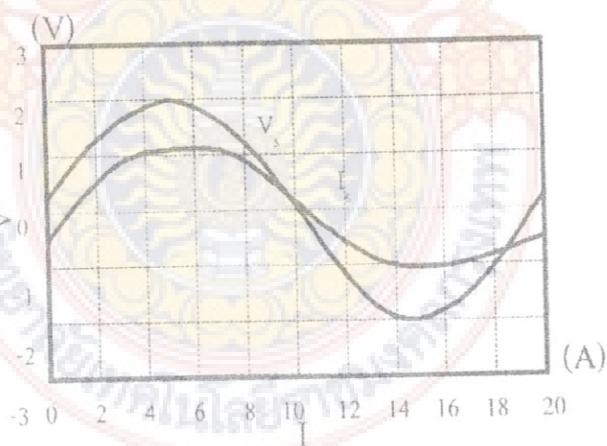
กำลังไฟฟ้าจริง หรือ กำลังเฉลี่ย (Real หรือ Average หรือ Active Power, P) เป็นค่าเฉลี่ยของกำลังไฟฟ้าชั่วขณะในหนึ่งคาบเวลาซึ่ง หาได้จาก

$$P = VI \cos \phi \quad (2-4)$$

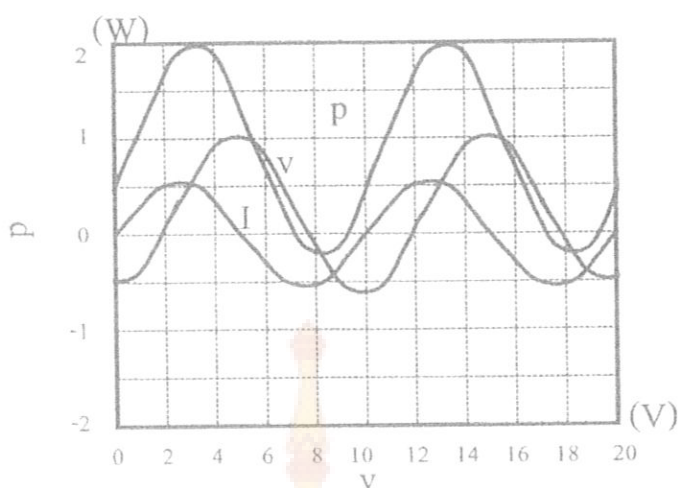
ค่ากำลังไฟฟ้านี้เป็นค่าที่ใช้งานโดยภาระมีหน่วยเป็นวัตต์ (Watt, W) ปริมาณนี้พิจารณาได้จากสมการที่ (2-3) รูปที่ 2.2 ปริมาณนี้เป็นค่าที่มิเตอร์ติดตั้ง (Watt hour) ตามบ้านเรือนทั่วๆไปทำการวัดเพื่อประเมินการใช้กำลังไฟฟ้า



รูปที่ 2.0 วงจรอนุกรม RC



รูปที่ 2.1 รูปคลื่นแรงดันและกระแสของวงจรอนุกรม RL



รูปที่ 2.2 รูปคลื่นของกำลังไฟฟ้าชั่วขณะ

กำลังไฟฟ้รีแอกทีฟ (Reactive Power, Q) เก็บค่ากำลังไฟฟ้าที่เกิดขึ้นเนื่องจากการส่งถ่ายกำลังงานที่สะสมที่ขดลวดเหนี่ยวนำและตัวเก็บประจุของวงจรซึ่งเป็นปริมาณที่มีทั้งค่าบวกและค่าลบและทำให้มีค่าเฉลี่ยเป็นศูนย์ ซึ่งพิจารณาได้จากสมการที่ (2-3) รูปที่ 2.2 ค่ากำลังไฟฟ้รีแอกทีฟนี้มีหน่วยเป็นวาร์ (Reactive Power, Var) และมีขนาดเป็น

$$Q = V_s I_s \sin \phi \quad (2-5)$$

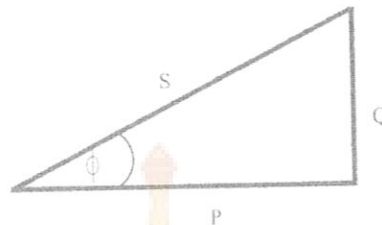
กำลังปรากฏ (Apparent Power, S) เป็นค่าผลคูณระหว่างขนาดของแรงดันไฟฟ้า RMS และกระแสไฟฟ้าของวงจรที่จะบอกถึงขนาดของกำลังไฟฟ้าที่ระบบจ่ายแรงดันไฟฟ้าต้องจ่ายให้กับวงจรซึ่งมีค่าเป็น

$$S = V_s I_s \quad (2-6)$$

มีหน่วยเป็น VA (Volt-Amp) ส่วนสมการในรูปของ Complex Power แบบที่นิยมจะเขียนได้โดยใช้ผลคูณทางเวกเตอร์ระหว่างแรงดันไฟฟ้าและ Conjugate ของกระแสไฟฟ้าคือ

$$S = V_s I_s^* \quad \text{หรือ} \quad S = P \pm jQ \quad (2-7)$$

โดยให้ค่า Q เป็นบวก สำหรับภาระที่ประกอบไปด้วยตัวเหนี่ยวนำ และ Q เป็นลบสำหรับภาระที่ประกอบไปด้วยตัวเก็บประจุ กำลังไฟฟ้า P, Q, S แสดงสามเหลี่ยมกำลังไฟฟ้า ดังรูปที่ 2.3 (เมื่อภาระเป็น RL)



รูปที่ 2.3 สามเหลี่ยมกำลังไฟฟ้า

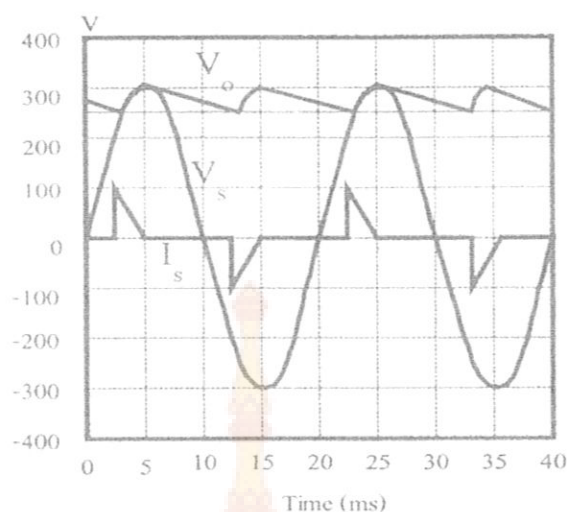
มุมต่างเฟสระหว่างกระแสกับแรงดันไฟฟ้าและกระแสไฟฟ้า (ϕ) จะถูกใช้ในการกำหนดตัวประกอบกำลังดังนี้คือ

$$\text{PF or } \lambda = \cos \phi = \frac{P}{S} \quad (2-8)$$

เมื่อแรงดันไฟฟ้าและกระแสไฟฟ้าประกอบด้วยความถี่หลักมูลฐาน (Fundamental Frequency) ค่าตัวประกอบกำลังนี้เรียกว่า Displacement Power Factor (DPF) เมื่อกำหนดให้มุมต่างเฟสระหว่างแรงดันและกระแสไฟฟ้าที่มีความถี่มูลฐานเป็น ϕ ดังนั้น $\text{DPF} = \cos \phi$ ก็คือ ตัวประกอบกำลังของวงจรไฟฟ้าที่ ความถี่ของแรงดันไฟฟ้าและกระแสไฟฟ้าที่มีความถี่หลักมูล

3. กระแสฮาร์มอนิกของภาระแบบไม่เป็นเชิงเส้นและตัวประกอบกำลัง [2]

ถ้าภาระของแหล่งจ่ายไฟฟ้าเป็นแบบไม่เป็นเชิงเส้นเช่น วงจรที่ทำงานในลักษณะสวิตช์ที่ประกอบด้วยอุปกรณ์อิเล็กทรอนิกส์ต่าง ๆ เช่น ไดโอด ทรานซิสเตอร์ ไทริสเตอร์หรืออิเล็กทรอนิกส์ต่าง ๆ กระแสฮาร์มอนิกอาจไม่เป็นรูปคลื่นไซน์ที่มีความถี่เท่ากับความถี่ของแรงดันแหล่งจ่าย ตัวอย่างเช่น วงจรเรียงกระแสแบบบริดจ์ ถ้าสมมุติแรงดันแหล่งจ่ายเป็นรูปคลื่นไซน์ที่ไม่มีการผิดเพี้ยนและไม่มีการพิจารณาถึงอิมพีแดนซ์ภายในระบบกระแสฮาร์มอนิกของวงจรเมื่ออยู่ในสภาวะคงที่จะไหลเฉพาะช่วงเวลาที่มีการเก็บประจุของตัวเก็บประจุดังรูปที่ 2.4 กระแสไฟฟ้านี้ไม่ได้ประกอบด้วยกระแสไฟฟ้าที่มีความถี่มูลฐานเท่านั้น แต่จะประกอบด้วยกระแสที่มีความถี่เป็นจำนวนพหุคูณของความถี่มูลฐานหรือที่เรียกว่ากระแสฮาร์มอนิกเป็นจำนวนมาก



รูปที่ 2.4 รูปคลื่นแรงดันอินพุตแรงดันเอาต์พุตและกระแสอินพุต

จากรูปคลื่นกระแสทางด้านอินพุต (I_s) ดังรูปที่ 2.4 เมื่อนำมาเขียนสมการจะได้ดังนี้
กระแสอินพุต i_s ขณะวงจรทำงานอยู่ในสถานะคงที่

$$i_s = \hat{I}_{s1} \sin(\omega_0 t + \phi_1) + \sum_{n=2}^{\infty} \hat{I}_{sn} \sin(n\omega_0 t + \phi_n)$$

(2-9)

เมื่อ

i_s แทน กระแสชั่วขณะอินพุตของแหล่งจ่าย AC (A)

$\hat{I}_{s1}$ แทน กระแสค่ายอดอินพุตของแหล่งจ่าย AC ที่ความถี่หลักมูลหรือลำดับฮาร์โมนิกที่
หนึ่ง (A)

ω_0 แทน ความเร็วเชิงมุม (rad/s)

ϕ_1 แทน มุมต่างเฟสระหว่างกระแสกับแรงดันแหล่งจ่าย AC ที่ความถี่หลักมูล (rad)

ϕ_n แทน มุมต่างเฟสระหว่างกระแสกับแรงดันแหล่งจ่าย AC ที่ความถี่ลำดับฮาร์โมนิก

ใดๆ

$\hat{I}_{sn}$ แทน กระแสค่ายอดอินพุตของแหล่งจ่าย AC ที่ความถี่ฮาร์โมนิกที่ n ใดๆ (A)

t แทน เวลาชั่วขณะที่เวลาใด ๆ (s)

n แทน จำนวนลำดับฮาร์โมนิกใดๆ

และกระแสอาร์เอ็มเอสอินพุตของแหล่งจ่าย AC ในสมการที่ (1) จะมีค่าเท่ากับ

$$\begin{aligned} I_s &= \sqrt{I_{s1}^2 + I_{s2}^2 + I_{s\infty}^2} \\ &= \sqrt{I_{s1}^2 + \sum_{n=2}^{\infty} I_{sn}^2} \end{aligned} \quad (2-10)$$

เมื่อ

I_s แทน กระแสอาร์เอ็มเอสอินพุต (A)

I_{s1} แทน กระแสอาร์เอ็มเอสอินพุตของแหล่งจ่าย AC ที่ความถี่หลักมูล (A)

I_{s2} แทน กระแสอาร์เอ็มเอสอินพุตของแหล่งจ่าย ที่ลำดับฮาร์โมนิกส์ที่ 2 (A)

สำหรับกระแสฮาร์โมนิกส์ที่ความถี่ไม่ใช่ในลำดับหลักมูลจะมีชื่อเรียกว่ากระแสการบิดเบี้ยว (Distortion Current) และจะมีค่าเท่ากับ

$$I_{dis} = \sqrt{\sum_{n=2}^{\infty} I_{sn}^2} \quad (2-11)$$

เมื่อ I_{dis} แทน กระแสการบิดเบี้ยว (Distortion Current) (A)

สำหรับเปอร์เซ็นต์การบิดเบี้ยวของกระแสฮาร์โมนิกส์รวม (Total Harmonic Distortion)

และกำหนดด้วยเป็น **THD** จะมีค่าเท่ากับ

$$\text{THD (\%)} = \frac{I_{dis}}{I_{s1}} \times 100 \quad (2-12)$$

โดยค่าตัวประกอบของการบิดเบี้ยว (Distortion Factor) คือ $k_{dis} = \frac{I_{s1}}{I_s}$ (2-13)

เมื่อ k_{dis} แทน ค่าตัวประกอบของการบิดเบี้ยว

ค่าตัวประกอบกำลังเท่ากับ

$$PF = \frac{P}{S} \quad (2-14)$$

$$= \frac{V_s I_{s1}}{V_s I_s} \cos \phi_1 \quad (2-12)$$

$$\text{หรือ} \quad = k_{dis} \times \cos \phi_1 \quad (2-13)$$

เมื่อ P แทน กำลังไฟฟ้าจริง (W)

S แทน กำลังไฟฟ้าปรากฏ (VA)

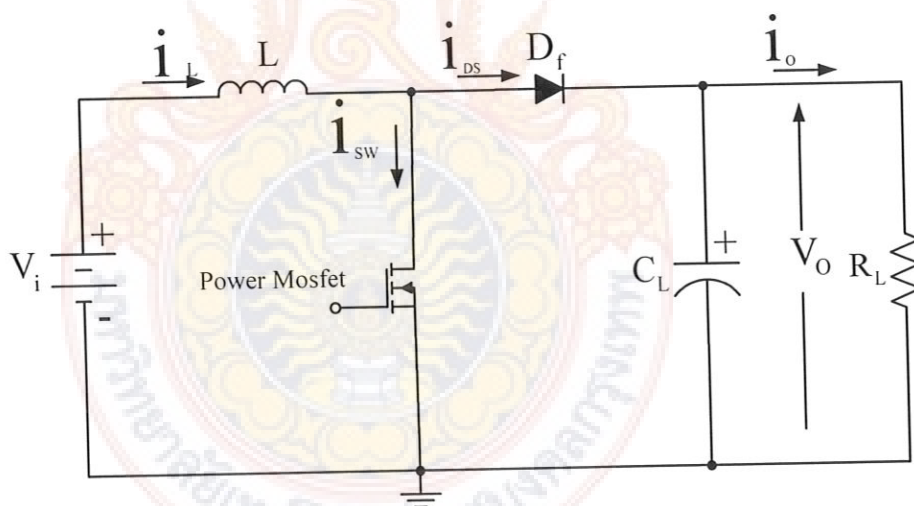
PF แทน ค่าตัวประกอบกำลังไฟฟ้า

$\cos\phi$ แทน ค่าตัวประกอบกำลังของกระแสขณะความถี่หลักมูล

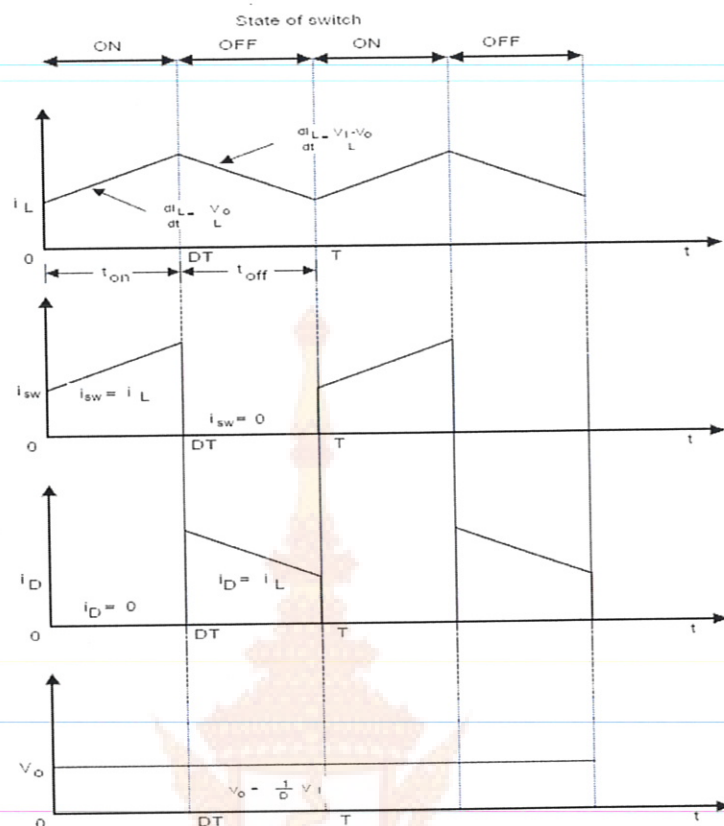
จากสมการที่ (2-13) จะสังเกตเห็นได้ว่าค่าตัวประกอบกำลังของวงจรไม่ได้ขึ้นอยู่กับค่ามุมต่างเฟส ระหว่างกระแสกับแรงดันเพียงอย่างเดียว แต่จะขึ้นอยู่กับค่าการผิดเฟสของกระแสด้วย และถ้าหากกระแส I_{s1} มีการผิดเฟส ค่าตัวประกอบกำลังการผิดเฟสของกระแสในสมการที่ (2-13) ก็ จะผิดเฟสด้วยและมีค่าน้อยกว่าหนึ่ง สุดท้าย ถึงแม้ว่าค่า $\cos\phi$ จะมีค่าเท่ากับหนึ่ง แต่ค่าตัวประกอบกำลังของวงจร ก็จะมีค่าต่ำได้เช่นกัน เพราะฉะนั้นถ้าต้องการตัวประกอบกำลังของวงจรมีค่าที่ใกล้เคียงหนึ่ง สามารถทำได้โดยการพยายามปรับทำให้รูปคลื่นของกระแสอินพุตเป็นไซน์ที่มี มุมตรงกับแรงดัน

4. ทฤษฎีวงจรแปลงผันแบบบูส

เราจะศึกษาการทำงานและคุณสมบัติของวงจรแปลงผันแบบบูส รูปที่ 2.5 แสดงวงจรแปลงผันแบบบูส และรูปที่ 2.6 แสดงรูปคลื่นของวงจร



รูปที่ 2.5 วงจรแปลงผันแบบบูส



รูปที่ 2.6 รูปคลื่นแรงดันและกระแสของวงจรแปลงผันแรงดันแบบบัส ที่ทำงานในโหมดกระแส

ต่อเนื่อง

การวิเคราะห์วงจรแปลงผันแรงดันบัส สามารถสรุปการทำงานของวงจรแปลงผันแรงดันแบบบัส

1. ระหว่างเวลาที่สวิตช์อิเล็กทรอนิกส์ SW ถูกจุดชนวนให้ทำงาน (ดูรูปที่ 2.5) กระแสตัวเหนี่ยวนำ I_L เพิ่มขึ้นอย่างเป็นเชิงเส้นด้วยอัตราความชัน

$$\frac{dI_L}{dt} = \frac{V_i}{L} \quad (2-14)$$

ในระหว่างเวลานี้ พลังงานแม่เหล็กถูกสะสมในตัวเหนี่ยวนำ L

2. ระหว่างเวลาที่สวิตช์อิเล็กทรอนิกส์สวิตช์ SW ถูกจุดชนวนให้หยุดทำงาน กระแสตัวเหนี่ยวนำ I_L ลดลงที่อัตราความชัน

$$\frac{dI_L}{dt} = \frac{V_i - V_o}{L} \quad (2-15)$$

ในเวลาเดียวกัน พลังงานที่สะสมในตัวเหนี่ยวนำ L กับพลังงานจากแหล่งจ่ายแรงดันอินพุต (V_i) จะไหลผ่านวงจรเอาต์พุตพร้อมกัน ด้วยเหตุนี้ แรงดันแหล่งจ่าย V_i ถูกอนุกรมกับแรงดันในตัวเหนี่ยวนำเพื่อจ่ายพลังงานไปที่เอาต์พุต ทำให้แรงดันเอาต์พุต V_o มากกว่า V_i ซึ่งเป็นเหตุให้วงจรแปลงผันแรงดันแบบนี้ชื่อเรียกว่าแบบบูส

3. แรงดันตรงที่เอาต์พุต V_o ของวงจรแปลงผันแรงดันแบบบูส ซึ่งทำงานในโหมดกระแสต่อเนื่องสามารถถูกอธิบายได้จากรูปคลื่นกระแสตัวเหนี่ยวนำใน รูปที่ 2.6

$$\Delta i_L \text{ (ขณะที่เพิ่มขึ้นของ } i_L) = \Delta i_L \text{ (ขณะที่ลดลงของ } i_L) \quad (2-16)$$

$$DT \frac{V_i}{L} = \frac{(1-D)T(V_o - V_i)}{L} \quad (2-17)$$

$$V_i = (1-D)V_o \quad (2-18)$$

$$V_o = \frac{V_i}{(1-D)} \quad (2-19)$$

5. ตัวควบคุมแบบสัดส่วนร่วมกับบูรณาการรวมหน่วย (PI Controller) [12]

ตัวควบคุมแบบสัดส่วนร่วมกับแบบบูรณาการรวมหน่วยนี้ เป็นการนำเอาคุณสมบัติของตัวควบคุมแบบสัดส่วนกับตัวควบคุมแบบบูรณาการรวมหน่วยมารวมกัน ดังนั้น สัญญาณที่ออกจากตัวควบคุมชนิดนี้คือ

สัญญาณทางออก = สัญญาณทางออกแบบพี + สัญญาณทางออกแบบไอ

$$V_{in}(t) = G_p V_{in}(t) + \frac{1}{T_i} \int_0^t V_{in} dt$$

แปลงลาปลาซ จะได้

$$V_{out}(s) = G_p V_{in}(s) + \frac{V_{in}(s)}{T_i s}$$

$$V_{out}(s) = G_p V_{in}(s) + (1 + \frac{1}{T_i s}) \quad (2-20)$$

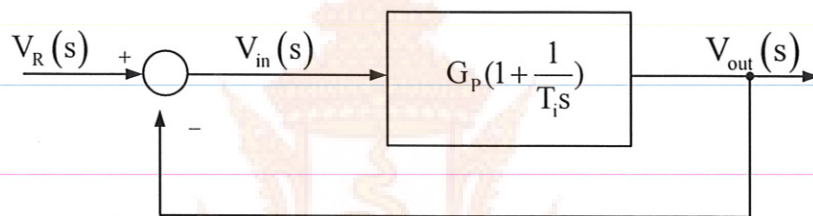
เมื่อ $T_r = G_p T_i$ เขียนเป็นฟังก์ชันโอนย้าย ดังสมการที่ (2-21)

$$F(s) = \frac{V_{out}(s)}{V_{in}(s)} = G_p \left(1 + \frac{1}{T_i s}\right) \quad (2-21)$$

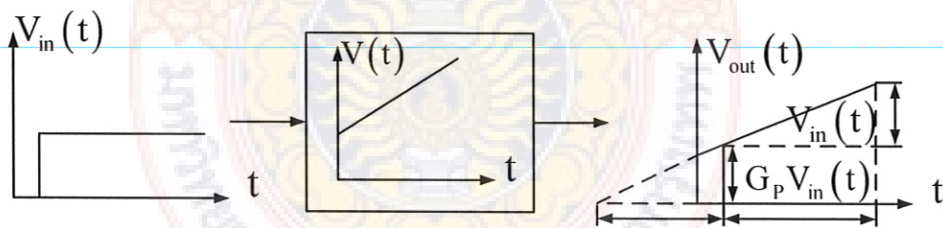
ค่าของ G_p และ T_i สามารถเปลี่ยนแปลงค่าได้ การปรับปรุค่า T_i จะมีผลต่อการกระทำ การควบคุมแบบบูรณาการรวมหน่วย แต่ถ้าปรับค่าความไวของสัดส่วน G_p จะมีผลทั้งการกระทำ การควบคุมแบบสัดส่วน และการกระทำการควบคุมแบบบูรณาการรวมหน่วย ส่วนกลับของ T_i เรียกว่า

“อัตราส่วนการจัดใหม่” อัตราส่วนการจัดใหม่เป็นจำนวนครั้งต่อนาทีที่การควบคุมแบบสัดส่วน เริ่มต้นใหม่

จากสมการที่ (2-21) สามารถนำมาเขียนเป็นภาพบล็อกไดอะแกรมได้ดังรูปที่ 2.7 และ ผลตอบสนองต่อฟังก์ชันขั้นบันไดแสดงได้ดังรูปที่ 2.8

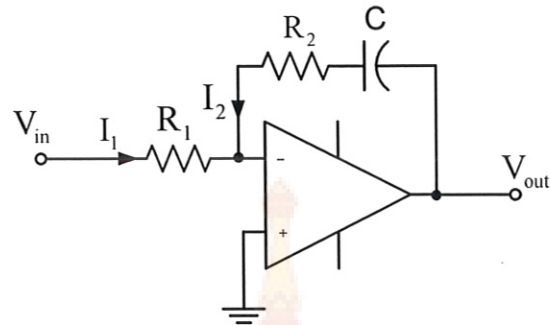


รูปที่ 2.7 บล็อกไดอะแกรมของตัวควบคุมแบบสัดส่วนร่วมกับแบบบูรณาการรวมหน่วย



รูปที่ 2.8 ผลตอบสนองต่อฟังก์ชันขั้นบันได ของตัวควบคุมแบบสัดส่วนร่วมกับแบบ บูรณาการรวมหน่วย

จากบล็อกไดอะแกรมรูปที่ 2.7 สามารถสร้างเป็นวงจรออปแอมป์ได้ ดังรูปที่ 2.9



รูปที่ 2.9 วงจรควบคุมแบบสัดส่วนร่วมกับแบบบูรณาการรวมหน่วย

จากวงจรในรูปที่ 2.9 เมื่อพิจารณาที่ขาลบ (-) จะได้

$$I_1 + I_2 = 0$$

$$\begin{aligned} V_{in}(t) &= I_1(t)R_1 \\ &= -I_2(t)R_1 \end{aligned}$$

$$V_{out}(t) = -[I_2(t)R_2 + V_C(t)] \quad (2-22)$$

$$= -\left[I_2(t)R_2 + \frac{1}{C} \int_0^t i_2 dt \right]$$

$$= -\left[V_{in}(t) \frac{R_2}{R_1} + \frac{V_{in}(t)}{CR_1} \right]$$

$$= -\frac{V_{in}(t)}{R_1} \left(R_2 + \frac{1}{C} \right) \quad (2-23)$$

เขียนเป็นฟังก์ชันโอนย้ายได้ดังนี้

$$F(s) = \frac{V_{out}(s)}{V_{in}(s)} = -\frac{1}{R_1} \left(R_2 + \frac{1}{C_s} \right)$$

$$= -\frac{R_2}{R_1} \left(1 + \frac{1}{R_2 C_s} \right)$$

$$F(s) = -G_p \left(1 + \frac{1}{T_r s} \right) \quad (2-24)$$

เมื่อ $G_p = \frac{R_2}{R_1}$ คือ ความไวของสัดส่วนหรืออัตราขยาย

$T_r = R_2 C$ คือ อัตราส่วนจัดใหม่

$T_i = R_1 C$ คือ เวลาบูรณาการรวมหน่วย

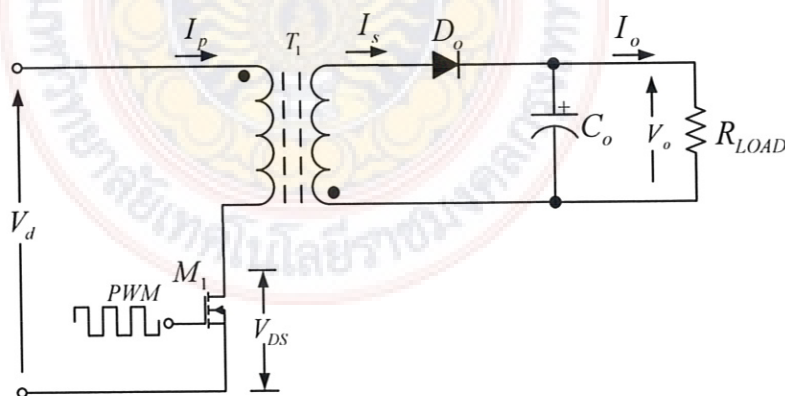
6. วงจรแปลงผันแบบฟลายแบค (Flyback Converter)

วงจรฟลายแบคคอนเวอร์เตอร์เหมาะสมสำหรับเป็นแหล่งจ่ายกำลังแบบการสวิตช์ นอกจากนี้ หม้อแปลงยังทำหน้าที่เป็นตัวเหนี่ยวนำ ให้กับวงจรอีกด้วย ดังภาพที่ 2.10 ซึ่งแสดงให้เห็นทั้งวงจรและรูปคลื่นแรงดันกับกระแสที่จุดต่างๆ ขณะกำลังทำงานอยู่ในสถานะคงเดิม

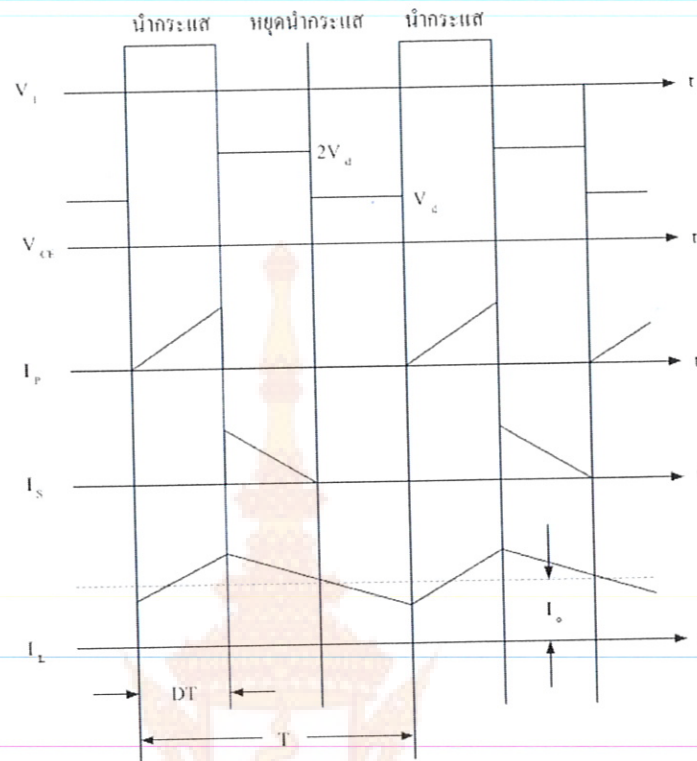
การทำงาน เมื่อมอสเฟตกำลัง Q_1 นำกระแส ขดลวดปฐมภูมิจะมีกระแสไหล พร้อมกับเกิดเป็นพลังงานสะสมขึ้นในขดลวดนี้ เนื่องจากจุด (Dot) ของขดลวดระหว่างอินพุตกับเอาต์พุตของหม้อแปลงมีตำแหน่งตรงข้ามกัน ดังนั้นสภาพขั้วของแรงดันจึงได้ตรงกันข้ามด้วย แล้วส่งผลทำให้ไดโอด D ถูกไบอัสย้อนกลับ สุดท้ายพลังงานไม่สามารถถ่ายเทไปยังโหลด R_L ในสถานะนี้ได้

เมื่อมอสเฟตกำลัง Q_1 หยุดนำกระแสในเวลาต่อมาบ้าง สภาพขั้วของแรงดันขดลวดทุติยภูมิ จะได้ตรงกันข้าม ทั้งนี้เนื่องจากการขยุตัวของสนามแม่เหล็ก ดังนั้น ไดโอด D ถูกไบอัสไปหน้า พร้อมกับนำกระแสและได้กระแสไหลไปเก็บประจุที่ C หลังจากนั้นจะได้ C ทำหน้าที่เป็นแหล่งจ่ายสำหรับการป้อนกระแสให้กับโหลด R_L

เนื่องจากอุปกรณ์แยกส่วนได้ทำหน้าที่เป็นหม้อแปลงและตัวเหนี่ยวนำร่วมกัน ดังนั้นทางด้านเอาต์พุตจึงไม่จำเป็นต้องมีตัวเหนี่ยวนำสำหรับกรองกรองสัญญาณรบกวนรูปคลื่นสไปค์ ความถี่สูงที่ได้จากการสวิตช์ แต่ในทางปฏิบัติสามารถนำตัวเหนี่ยวนำค่าต่างๆ คั่นระหว่างไดโอดกับตัวเก็บประจุด้านเอาต์พุตได้



รูปที่ 2.10 วงจรแปลงผันแบบฟลายแบค



รูปที่ 2.10 (ต่อ) รูปคลื่นแรงดันกับกระแสที่จุดต่างๆขณะกำลังทำงานอยู่ในสถานะคงเดิม

7. หม้อแปลงสวิตชิง [3]

หม้อแปลงสวิตชิง (Switching Transformer) จัดเป็นอุปกรณ์หลักสำคัญสำหรับสวิตชิงเพาเวอร์ซัพพลาย ดังนั้นในการออกแบบสวิตชิงเพาเวอร์ซัพพลาย จึงจำเป็นต้องศึกษารูปแบบที่เป็นไปได้ในลักษณะต่างๆของหม้อแปลงสวิตชิง ตามความเหมาะสมในการใช้งานการคำนวณขนาดแกนเฟอร์ไรต์และขนาดลวดทองแดง รวมทั้งการกำหนดพิกัดความปลอดภัยทางไฟฟ้าเพื่อความปลอดภัยและลดกำลังงานสูญเสียในหม้อแปลงสวิตชิงขณะทำงาน

7.1 แกนเฟอร์ไรต์ (Ferrite Core)

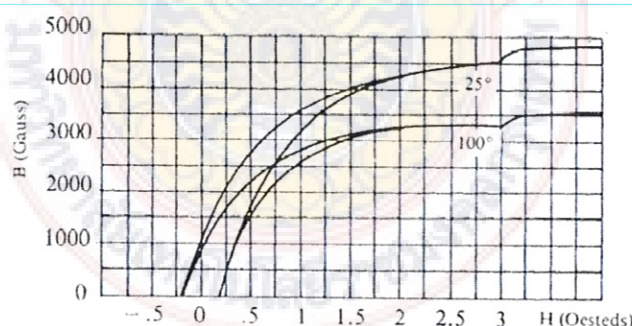
เฟอร์ไรต์เป็นวัสดุประเภท สารแม่เหล็กหรือเฟอร์โรแมกเนติกส์ (Ferromagnetic) การเหนี่ยวนำแม่เหล็กบนแกนเฟอร์ไรต์ จะมีผลทำให้เกิดความหนาแน่นฟลักซ์สูงกว่าการเหนี่ยวนำ

แม่เหล็กที่เกิดขึ้นบนแกนอากาศมาก แกนเฟอร์ไรต์มีค่าจุดอิ่มตัวฟลักซ์แม่เหล็กค่อนข้างสูง ประมาณในช่วง 3,000 ถึง 4,000 เกาส์ และเกิดการสูญเสียในตัวดำที่ความถี่สูง ดังนั้นหม้อแปลง สวิตซ์จึงนิยมใช้แกนเป็นเฟอร์ไรต์

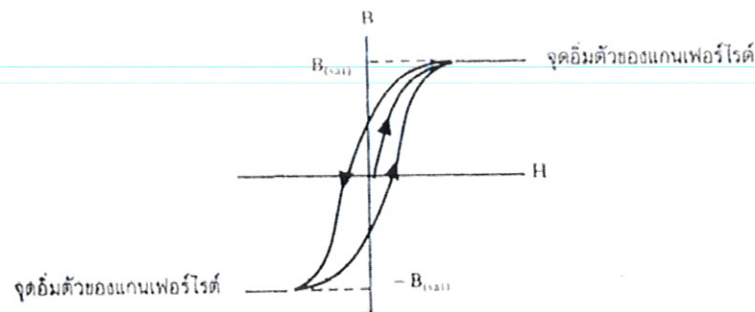
ก. ลักษณะสมบัติของเนื้อสารที่ใช้ทำแกนเฟอร์ไรต์

ชนิดของเนื้อสารเฟอร์ไรต์ที่แตกต่างกัน จะให้คุณสมบัติทางแม่เหล็กของแกนแตกต่างกัน ถึงแม้จะมีขนาดทางกายภาพเท่ากันทุกประการ ในแผ่นข้อมูลเนื้อสารที่ให้กับแกนเฟอร์ไรต์นั้น จะมีรายละเอียดลักษณะสมบัติเนื้อสารแสดงไว้เสมอ ข้อมูลที่ควรจะทำให้ความเข้าใจและศึกษาไว้ก็คือเส้นโค้งฮิสเตอร์รีซิส (Hysteresis curve) และค่าการสูญเสียในแกนเฟอร์ไรต์(Core Loss)

เส้นโค้งฮิสเตอร์รีซิสจะแสดงความสัมพันธ์ระหว่างค่าความหนาแน่นฟลักซ์แม่เหล็ก (B) ที่เกิดขึ้นในแกนกับความเข้มของสนามแม่เหล็ก (H) ที่เกิดจากการเหนี่ยวนำของขดลวดที่พันบนแกน ในรูปที่ 2.11 แสดงลักษณะของเส้นโค้งฮิสเตอร์รีซิสของเนื้อสารชนิด 3C8 ซึ่งผลิตโดย FERROXCUBE จากรูปที่ 2.11 ค่าความหนาแน่นของฟลักซ์แม่เหล็ก จะเพิ่มขึ้นเมื่อความเข้มของสนามแม่เหล็ก มีค่าเพิ่มขึ้นจนถึงจุดหนึ่ง ซึ่งค่าความหนาแน่นฟลักซ์แม่เหล็ก มีค่าเพิ่มขึ้นน้อยมาก ถึงแม้ว่าจะมีการเพิ่มขึ้นของความเข้มสนามแม่เหล็ก เรียกว่า จุดอิ่มตัวของฟลักซ์แม่เหล็ก (Saturation) โดยปกติผู้ผลิตจะแสดงกราฟของเส้นโค้งฮิสเตอร์รีซิสเพียงครึ่งเดียว เนื่องจากอีกครั้งของเส้นโค้งฮิสเตอร์รีซิส จะมีลักษณะเช่นเดียวกัน แต่จะกลับทิศทางกัน ดังรูปที่ 2.12 การใช้แกนเฟอร์ไรต์หม้อแปลงสวิตซ์ จะต้องระวังไม่ทำให้แกนเฟอร์ไรต์เกิดการอิ่มตัว ดังนั้น การออกแบบหม้อแปลงสวิตซ์ จึงควรกำหนดค่าความหนาแน่นฟลักซ์แม่เหล็กสูงที่สุดในแกนขณะทำงาน ต้องมีค่าไม่เกินครึ่งหนึ่งของความหนาแน่นฟลักซ์แม่เหล็กอิ่มตัวของแกนเฟอร์ไรต์เพื่อความปลอดภัย



รูปที่ 2.11 เส้นโค้งฮิสเตอร์รีซิสของแกนเฟอร์ไรต์ที่เป็นเนื้อสารชนิด 3C8



รูปที่ 2.12 ลักษณะที่สมบูรณ์ของเส้นโค้งฮิสเทอรีซิสซึ่งจะมีลักษณะสมมาตรของกราฟ ซิกบนและซิกล่าง

ข. การกำหนดค่าความหนาแน่นฟลักซ์แม่เหล็กสูงสุดในแกนหม้อแปลง

ค่าความหนาแน่นฟลักซ์แม่เหล็กในแกนหม้อแปลง จะขึ้นอยู่กับจำนวนรอบของขดปฐมภูมิและขนาดของแกน จากกฎของฟาราเดย์จะได้ดังสมการที่ (2-25)

$$\Delta B = \frac{V_p \times t}{N_p \times A_c} \times 10^8 \quad (2-25)$$

เมื่อ	ΔB	คือ	ค่าความหนาแน่นของฟลักซ์แม่เหล็กที่เกิดขึ้นในแกน (เกาส์)
	V_p	คือ	ค่าแรงดันที่ตกคร่อมขดปฐมภูมิ (โวลต์)
	N_p	คือ	ค่าจำนวนรอบขดปฐมภูมิ (รอบ)
	A_c	คือ	ขนาดพื้นที่หน้าตัดของแกน (ตารางเซนติเมตร)
	t	คือ	ช่วงเวลาที่มีการเปลี่ยนแปลงฟลักซ์แม่เหล็กเกิดขึ้น (วินาที)

จะเห็นได้ว่ายิ่งจำนวนรอบขดปฐมภูมิที่มีค่าน้อยลง ค่าความหนาแน่นฟลักซ์ที่เกิดขึ้นจะมีค่ามาก ซึ่งการลดจำนวนรอบของการลดขดปฐมภูมิลงจะทำให้สามารถใช้ลวดทองแดงขนาดใหญ่ขึ้นได้ และสามารถทนกระแสได้สูงทำให้หม้อแปลงให้กำลังได้สูงขึ้น อย่างไรก็ตามหากค่าความหนาแน่นฟลักซ์แม่เหล็กมีค่าเพิ่มขึ้นถึงจุดอิ่มตัว จะทำให้แรงดันทางขดปฐมภูมิมีค่าลดลงอย่างรวดเร็ว แรงดันอินพุตจะตกคร่อมที่เพาเวอร์มอสเฟต ขณะที่กำลังนำกระแสสูงๆ แทน ทำให้เพาเวอร์มอสเฟต เสียหายได้ และความหนาแน่นของฟลักซ์แม่เหล็กที่มีค่าสูงจะทำให้เกิดการสูญเสียภายในแกนสูงอีกด้วย ดังนั้น การกำหนดความหนาแน่นฟลักซ์แม่เหล็กสูงสุดในแกนเฟอร์ไรต์ขณะทำงาน จึงมีข้อที่ควรคำนึงถึง 2 ประการ คือ

1. แกนเฟอร์ไรต์ต้องไม่เกิดอิมิตัวขณะทำงาน

2. ที่ความหนาแน่นฟลักซ์แม่เหล็กสูงสุดที่เกิดขึ้น ในแกนขณะทำงานจะต้องเกิดกำลังสูญเสียในแกนเฟอร์ไรต์ต่ำที่สุด

ค. การเลือกขนาดแกนเฟอร์ไรต์ที่เหมาะสม

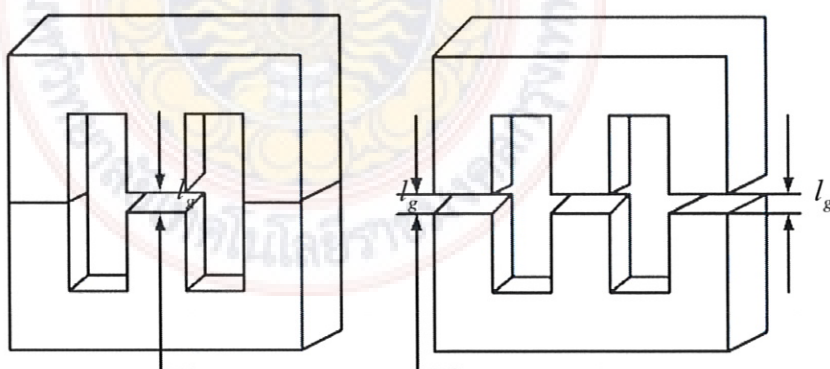
การใช้แกนเฟอร์ไรต์ที่มีขนาดใหญ่เกินไป สำหรับหม้อแปลงสวิตช์ซึ่งจะเป็นการสิ้นเปลืองค่าใช้จ่ายโดยไม่จำเป็น ส่วนการใช้แกนเฟอร์ไรต์ที่มีขนาดเล็กเกินไป ขดลวดและแกนเฟอร์ไรต์จะร้อน ขนาดของกำลังไฟฟ้า พิจารณาได้จากขนาดหน้าตัดของแกน (A_c) และขนาดช่องของการพันขดลวดของบอบบิ้น (A_w) สำหรับฟลายแบคคอนเวอร์เตอร์

$$P = \frac{0.5 \Delta B_{(max)} f A_c A_w}{\gamma} \times 10^{-3} \quad (2-26)$$

เมื่อ A_c คือ พื้นที่หน้าตัดของแกนเฟอร์ไรต์ (ตารางเซนติเมตร)
 A_w คือ พื้นที่สำหรับพันขดลวดของบอบบิ้น (ตารางเซนติเมตร)

7.2 ช่องอากาศคั่นทางเดินแม่เหล็กในแกนเฟอร์ไรต์ (Air Gap)

การเพิ่มช่องอากาศคั่นทางเดินแม่เหล็ก (Air Gap) ในแกนเฟอร์ไรต์ เป็นวิธีการอย่างหนึ่ง ที่ป้องกันการอิมิตัวของแกนเฟอร์ไรต์และช่วยให้การสะสมพลังงานของขดลวดในหม้อแปลงสวิตช์มีค่ามากขึ้นได้ด้วยอย่างไรก็ตาม ช่องอากาศคั่นในแกนเฟอร์ไรต์จะทำให้เกิดการแพร่กระจายสัญญาณรบกวนแม่เหล็กไฟฟ้า (EMI) ออกมา และอาจรบกวนอุปกรณ์ภายนอกได้เช่นกัน



รูปที่ 2.13 การกำหนดช่องว่างอากาศคั่น

สำหรับแกนเฟอร์ไรต์แบบ POT, EI, EER หรือแบบ EE สามารถกำหนดช่องอากาศคั่นในแกนได้ 2 ลักษณะ ดังรูปที่ 2.13 คือการกำหนดช่องอากาศคั่นที่แกนกลางอย่างเดียว และการคั่นแกนด้วยช่องอากาศระหว่างคู่ประกบ การคั่นแกนด้วยช่องอากาศระหว่างคู่ประกบสามารถทำได้ง่ายกว่าการคั่นช่องอากาศที่แกนกลางซึ่งทำได้ใช้แผ่นฉนวนที่มีความหนาเป็นครึ่งหนึ่งของระยะช่องอากาศคั่นที่ต้องการ นำมาคั่นระหว่างแกนของคู่ประกบ ส่วนการกำหนดช่องอากาศคั่นที่แกนกลางต้องสั่งโดยตรงจากผู้ผลิตแกนเฟอร์ไรต์ หรือขัดแกนกลางออกเพื่อให้ได้ระยะช่องอากาศคั่นตามต้องการ

การคั่นช่องอากาศระหว่างคู่ประกบ ความหนาของแผ่นฉนวนคั่นที่จะใช้มีค่าเพียงครึ่งหนึ่งของระยะช่องอากาศคั่นที่ต้องการเท่านั้น เนื่องจากช่องอากาศที่เกิดขึ้นจากการคั่นทางเดินฟลักซ์แม่เหล็กถึงสองครั้งในแกน ดังนั้นระยะช่องอากาศคั่นที่ได้จึงเป็นผลรวมของระยะช่องอากาศที่เกิดขึ้นทั้งหมด

7.3 แกนเฟอร์ไรต์สำหรับหม้อแปลงฟลายแบคและตัวเหนี่ยวนำเอาต์พุต

หม้อแปลงสวิตชิงสำหรับฟลายแบคคอนเวอร์เตอร์และตัวเหนี่ยวนำเอาต์พุต จะทำงานในลักษณะที่ต้องเก็บสะสมพลังงานไว้ก่อน แล้วจึงถ่ายเทพลังงานออกไป กำลังไฟฟ้าที่ได้จากหม้อแปลงจะมาจากค่าพลังงานที่หม้อแปลงสามารถสะสมไว้ได้ ในช่วงที่มีการสะสมพลังงานของหม้อแปลงหรือตัวเหนี่ยวนำเอาต์พุตพลังงานที่สะสมไว้จะมีค่าเท่ากับ $\frac{1}{2} L_p \hat{I}_p^2$ ความสัมพันธ์ระหว่างพลังงานสะสมกับขนาดของแกนเฟอร์ไรต์สามารถหาได้จากสมการที่ 2.27

$$L_p \hat{I}_p^2 = \frac{\Delta B_{(max)}^2 \cdot l_g \cdot A_c}{0.4\pi} \times 10^{-8} \quad (2-27)$$

เมื่อ	l_g	คือ ระยะห่างช่องอากาศคั่นแกนเฟอร์ไรต์	(เซนติเมตร)
	A_c	คือ ขนาดพื้นที่หน้าตัดแกนเฟอร์ไรต์	(ตารางเซนติเมตร)
	$\Delta B_{(max)}$	คือ ค่าความหนาแน่นฟลักซ์สูงสุดในแกน	(เกาส์)
	L_p	คือ ค่าความเหนี่ยวนำขดปฐมภูมิของหม้อแปลง	(เฮนรี)
	$\hat{I}_p$	คือ ค่ากระแสสูงสุดที่ไหลผ่านขดปฐมภูมิ	(แอมแปร์)

จะเห็นว่าเราสามารถเพิ่มค่าพลังงานสะสม (เพิ่มกำลังของหม้อแปลง) ได้โดยการเพิ่มระยะช่องอากาศคั่น l_g หรือโดยการเพิ่มขนาดของแกนเฟอร์ไรต์ให้ใหญ่ขึ้น (A_c เพิ่มขึ้น) ในทาง

ปฏิบัติการเพิ่มระยะช่องอากาศนั้นจะเป็นที่นิยมใช้มากกว่า เพราะต้องการให้หม้อแปลงสวิตชิงและตัวเหนี่ยวนำเอาต์พุตมีขนาดเล็ก

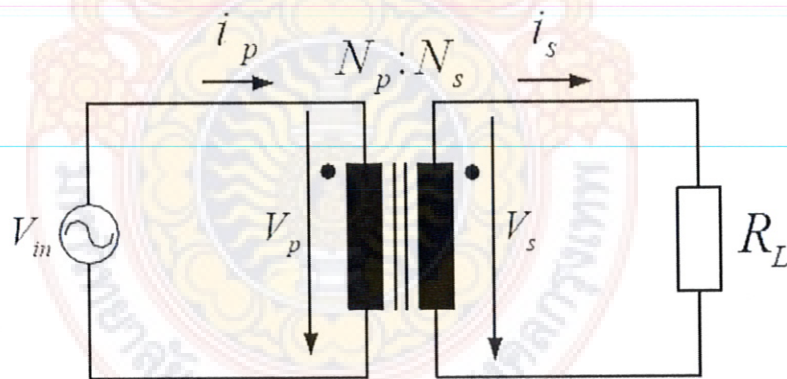
แกนเฟอร์ไรต์ที่ขนาดหนึ่งๆ ระยะของช่องอากาศนั้นสูงสุดจะถูกจำกัดด้วยค่าความสูญเสียที่เกิดขึ้นในขดลวดเพราะจำนวนรอบมีค่าเพิ่มขึ้น โดยจำนวนรอบจะมีค่าเพิ่มขึ้นตามระยะช่องอากาศที่เพิ่มขึ้น ดังสมการที่ (2-28)

$$N_p = \frac{\Delta B_{(\max)} l_g}{0.4 \pi \hat{I}_p} \quad (2-28)$$

เนื่องจากระยะพันบนบอบบิ้นมีค่าจำกัด และอาจมีเนื้อที่ไม่พอสำหรับจำนวนรอบที่เพิ่มขึ้นรวมถึง การสูญเสียที่เกิดในขดลวดทองแดงจะมากขึ้น เมื่อจำนวนรอบมากขึ้นซึ่งจะทำให้หม้อแปลงหรือตัวเหนี่ยวนำเอาต์พุตร้อน จึงต้องพิจารณาจุดที่เหมาะสมระหว่างการเพิ่มระยะช่องอากาศขึ้นหรือการเพิ่มขนาดของแกนเฟอร์ไรต์ด้วย

7.4 ความสัมพันธ์ระหว่างขดปฐมภูมิและขดทุติยภูมิของหม้อแปลงสวิตชิง

หม้อแปลงสวิตชิง จะมีความสัมพันธ์ของขดปฐมภูมิและขดทุติยภูมิเป็นไปตามทฤษฎีหม้อแปลง ผลของจำนวนรอบและค่าของแรงดันที่เกิดขึ้นในวงจรจากรูปที่ 2.14 จะเป็นดังสมการที่ (2-29) และ (2-30)



รูปที่ 2.14 ความสัมพันธ์พื้นฐานของหม้อแปลง

$$\frac{V_p}{V_s} = \frac{N_p}{N_s} = \frac{i_s}{i_p} \quad (2-29)$$

$$\text{และ} \quad \frac{N_p}{N_s} = \sqrt{\frac{L_p}{L_s}} \quad (2-30)$$

เมื่อ	N_p	คือ จำนวนรอบของขดปฐมภูมิ	(รอบ)
	N_s	คือ จำนวนรอบของขดทุติยภูมิ	(รอบ)
	V_p	คือ ค่าแรงดันตกคร่อมขดปฐมภูมิ	(โวลต์)
	V_s	คือ ค่าแรงดันตกคร่อมขดทุติยภูมิ	(โวลต์)
	L_p	คือ ค่าความเหนี่ยวนำของขดปฐมภูมิ	(เฮนรี)
	L_s	คือ ค่าความเหนี่ยวนำของขดทุติยภูมิ	(เฮนรี)
	i_p	คือ ค่ากระแสที่ไหลผ่านขดปฐมภูมิ	
(แอมแปร์)			
	i_s	คือ ค่ากระแสที่ไหลผ่านขดทุติยภูมิ	
(แอมแปร์)			

ข้อสังเกตคือ แรงดัน L_p เป็นค่าแรงดันที่ตกคร่อมขดปฐมภูมิ ซึ่งเกิดจากการเปลี่ยนแปลงของฟลักซ์แม่เหล็กในแกนของหม้อแปลง เนื่องจากมีกระแสไหลผ่านขดปฐมภูมิ ไม่ใช่ค่าแรงดันอินพุต (V_{in}) โดย L_p จะมีค่าเป็นไปตามสมการที่ (2-31)

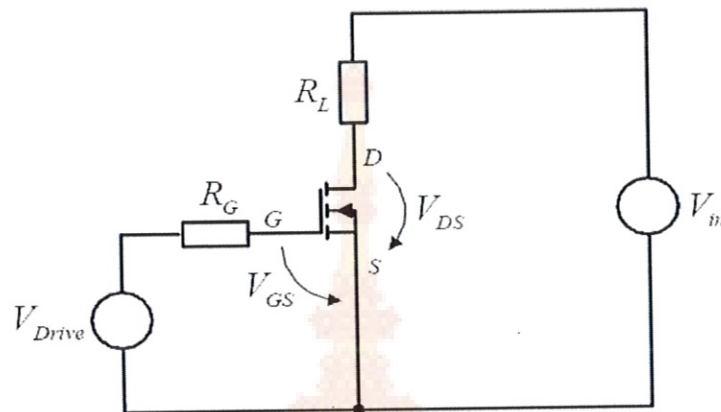
$$V_p = N_p A_e \left(\frac{dB}{dt} \right) \times 10^8 \quad (2-31)$$

ค่า V_p ที่เกิดขึ้นจะมีค่าใกล้เคียงกับค่า V_s แต่ถ้าแกนเฟอร์ไรต์เกิดการอิ่มตัวอัตราการเปลี่ยนแปลงของฟลักซ์แม่เหล็ก จะมีค่าน้อยมากหรือค่าเป็นศูนย์ แรงดันตกคร่อม V_p จะมีค่าลดลงอย่างรวดเร็วเหมือนเกิดการลัดวงจร และจะมีผลต่อการทำงานของหม้อแปลงและวงจรที่เกี่ยวข้อง

8. มอสเฟตกำลัง

มอสเฟตกำลัง (POWER MOSFET) หรือเรียกว่า เพาเวอร์มอสเฟต มีเวลาในการเปลี่ยนสถานะค่อนข้างสั้นและการพัฒนาในปัจจุบันมีแนวโน้มจะทำให้เพาเวอร์มอสเฟตทำงานได้ดีที่ความถี่สูงขึ้นไปอีก ซึ่งจะเป็นผลดีในการลดขนาดของคอนเวอร์เตอร์ ในส่วนของวงจรขับของ

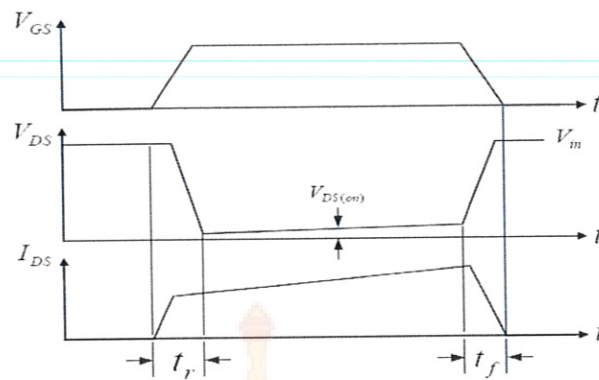
เพาเวอร์มอสเฟตนั้นสามารถทำได้ง่ายโดยขับเพาเวอร์มอสเฟตได้จาก TLP250 โดยตรง โครงสร้างของเพาเวอร์มอสเฟตจะเป็นไปได้ทั้งในลักษณะ N-Channel และ P-Channel ขาของมอสเฟตประกอบด้วย 3 ขา คือ ขาเกต(Gate),ขาเดรน(Drain) และขาซอร์ส (Source) โดยนำสัญญาณเข้าที่ขาเกตและนำโฟลบเข้าที่ขาซอร์ส ดังรูปที่ 2.15



รูปที่2.15 ลักษณะการต่อขามอสเฟตกำลัง

8.1 กำลังสูญเสียในรูปความร้อนของเพาเวอร์มอสเฟต

กำลังสูญเสียที่เกิดในเพาเวอร์มอสเฟตในขณะที่ทำงาน จะเป็นไปได้ 2 ลักษณะ คือกำลังงานสูญเสียขณะเปลี่ยนสถานะและกำลังงานสูญเสียขณะนำกระแส เพาเวอร์มอสเฟตจะมีช่วงเวลาเริ่มนำกระแสและช่วงเวลาเริ่มหยุดการนำกระแสสั้น เพราะตามโครงสร้างของเพาเวอร์มอสเฟตจะไม่มี การสะสมประจุเกิดขึ้น อย่างไรก็ตามเพาเวอร์มอสเฟตจะมีค่าความต้านทานขณะนำกระแสค่อนข้างสูง ถึงแม้ว่าช่วงเวลาเริ่มนำกระแส และ เริ่มหยุดนำกระแสเพาเวอร์มอสเฟตจะค่อนข้างสั้น ดังรูปที่2.16 แต่โดยทั่วไปเพาเวอร์มอสเฟตจะถูกใช้งานที่ความถี่สูง การคิดค่ากำลังสูญเสียขณะทำงานจำเป็นต้องนำค่ากำลังงานสูญเสีย ขณะเปลี่ยนสถานะมาคิดด้วยและเนื่องจากช่วงเวลาเริ่มหยุดนำกระแส (t_f) กับช่วงเวลาเริ่มนำกระแส (t_r) ของเพาเวอร์มอสเฟตมีค่าใกล้เคียงกันจึงต้องนำมาคิดทั้งสองช่วงเวลา



รูปที่ 2.16 ลักษณะของกระแสและแรงดันตกคร่อมเพาเวอร์มอสเฟตเมื่อเริ่มนำกระแสและเริ่มหยุดนำกระแส

$$P_d = P_{sw(on)} + P_{sw(off)} + P_c \quad (2-32)$$

$$P_{sw(on)} = \frac{0.5 V_m t_r \hat{I}_{on}}{T} \quad (2-33)$$

$$P_{sw(off)} = \frac{0.5 V_m t_f \hat{I}_{off}}{T} \quad (2-34)$$

$$P_c = \hat{I}_{Drms}^2 \times R_{DS(on)}(t_f) \quad (2-35)$$

เมื่อ	P	คือ กำลังสูญเสียรวม	(วัตต์)
	$P_{sw(on)}$	คือ กำลังงานสูญเสียขณะเริ่มนำกระแสของเพาเวอร์มอสเฟต	(วัตต์)
	$P_{sw(off)}$	คือ กำลังงานสูญเสียขณะเริ่มหยุดนำกระแส	(วัตต์)
	P_c	คือ กำลังงานสูญเสียขณะนำกระแสของเพาเวอร์มอสเฟต	(วัตต์)
	$\hat{I}_{on}$	คือ ค่ากระแสสูงสุดขณะเริ่มนำกระแส	(แอมแปร์)
	$\hat{I}_{off}$	คือ กระแสสูงสุดขณะเริ่มหยุดนำกระแส	(แอมแปร์)
	$\hat{I}_{Drms}$	คือ ค่ากระแสประสิทธิภาพ	(แอมแปร์)
	$R_{DS(on)}$	คือ ค่าความต้านทานระหว่างเดรนกับซอร์สที่อุณหภูมิรอบต่อ สูงสุดขณะทำงานของเพาเวอร์มอสเฟต	(โอห์ม)
	t_r	คือ ช่วงเวลาเริ่มนำกระแสของเพาเวอร์มอสเฟต	(วินาที)
	t_f	คือ ช่วงเวลาเริ่มหยุดนำกระแสของเพาเวอร์มอสเฟต	(วินาที)

ระบบและการจำกัดความผิดพลาดของกระแสส่งผลดีกับภาระเช่นกัน ในความเป็นจริงแล้วตัวประกอบกำลังที่เพิ่มขึ้นทำให้ระบบมีความสามารถในการจ่ายกำลังไฟฟ้าจริงได้เพิ่มขึ้น ยิ่งกว่านั้นกระแสที่ไหลในสายนิวตรอนถูกทำให้ลดลงอย่างมาก

มาตรฐาน IEC 1000-3-2 ถูกนำมาใช้กับภาระหรืออุปกรณ์ชนิด 1 เฟส หรือ 3 เฟส ที่ใช้กระแสไม่เกิน 16 A ต่อเฟส และสามารถจำแนกประเภทของอุปกรณ์หรือภาระทางไฟฟ้าออกเป็น 4 แบบ (กลุ่ม A , B , C และ D) เพื่อที่จะแยกแยะในการจำกัดและกำหนดปริมาณกระแสฮาร์มอนิกส์ที่จะสามารถเกิดขึ้นได้ในกระแสไลน์ มาตรฐานดังกล่าวได้รับการปรับปรุงมาหลายครั้งและการปรับปรุงครั้งที่สองได้เผยแพร่เมื่อปี ค.ศ.2000 พร้อมกับการปรับปรุงฉบับปัจจุบันเกิดขึ้นในปี ค.ศ. 2001

กลุ่ม A ประกอบด้วย อุปกรณ์ไฟฟ้า 3 เฟสที่กระแสสมมูล เครื่องใช้ในครัวเรือน ซึ่งไม่รวมถึงอุปกรณ์ที่ถูกระบุไว้ในกลุ่ม D เครื่องมือซึ่งไม่รวมถึงเครื่องมือที่เคลื่อนย้ายได้ อุปกรณ์หรีไฟของหลอดไส้ และเครื่องเสียง อุปกรณ์ที่ไม่ได้ถูกระบุอยู่ในหนึ่งในบรรดาทั้งหมดของกลุ่มต่างๆ ที่ได้กำหนดไว้ถือได้ว่าเป็นอุปกรณ์ที่จัดอยู่ในกลุ่ม A ข้อกำหนดสำหรับกลุ่ม A ถูกแสดงในตารางที่ 2.1

กลุ่ม B ประกอบด้วย เครื่องมือที่เคลื่อนย้ายได้และต้องไม่ใช่อุปกรณ์ประเภทเครื่องเชื่อมแบบมืออาชีพ ข้อกำหนดของกลุ่มนี้ถูกแสดงอยู่ในตารางที่ 2.1 เช่นกัน แต่ปริมาณต่างๆ ต้องถูกคูณด้วยค่าตัวประกอบเท่ากับ 1.5

กลุ่ม C ประกอบด้วย อุปกรณ์ที่ให้แสงสว่าง สำหรับกำลังไฟฟ้าจริงที่มากกว่า 25 W กระแสฮาร์มอนิกส์ควรที่จะต้องไม่เกินข้อกำหนดที่ถูกแสดงในตารางที่ 2.2 (ยกเว้นในอุปกรณ์การหรีไฟสำหรับหลอดไส้ที่จัดอยู่ในกลุ่ม A) อุปกรณ์ที่ให้แสงสว่างประเภทหลอดคายประจุที่มีค่ากำลังไฟฟ้าอินพุตจริงน้อยกว่าหรือเท่ากับ 25 W ควรที่จะเป็นไปตามข้อกำหนดอันใดอันหนึ่งจากความต้องการทั้ง 2 กลุ่มดังต่อไปนี้คือ หนึ่ง กระแสฮาร์มอนิกส์ควรที่จะไม่เกิน ข้อกำหนดพิกัดกำลังไฟฟ้ากลุ่ม D แสดงในตารางที่ 2.3 คลอัมที่ 2 หรือสอง กระแสฮาร์มอนิกส์อันดับที่สาม ถูกแสดงเป็นเปอร์เซ็นต์จากปริมาณกระแสหลักมูลฐาน ควรที่จะไม่เกิน 86 เปอร์เซ็นต์ และอันดับที่ 5 ควรที่จะไม่เกิน 61 เปอร์เซ็นต์

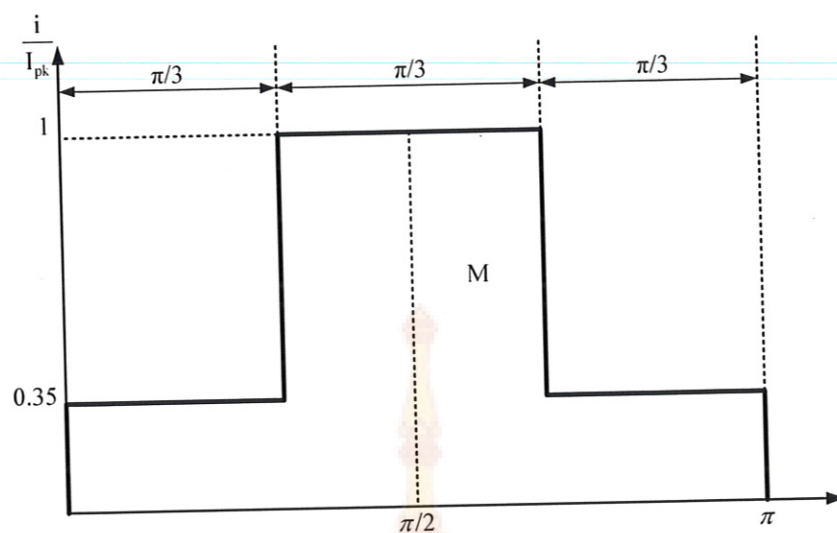
ข้อกำหนดฮาร์มอนิกส์สำหรับกลุ่ม D ถูกแสดงอยู่ในตารางที่ 2.3 ทั้งหมดถูกกำหนดให้อยู่ในเทอมของพิกัดกำลังและเทอมสมมูล กล่าวคือกลุ่ม D ประกอบด้วย อุปกรณ์ที่มีพิกัดกำลังจริงอินพุตน้อยกว่าหรือเท่ากับ 600 W และ รูปคลื่นกระแสอินพุตถูกทำให้เป็นปกติเทียบกับค่าสูงสุด I_{pk} ซึ่งอยู่ในขอบเขตที่แสดงอยู่ในรูปที่ 2.18 ภายใต้ข้อยูนิยามของกระแสนี้ กลุ่ม D ต้องเป็นอุปกรณ์ทางไฟฟ้าที่มีพิกัดกำลังไฟฟ้าจริงอินพุตน้อยกว่าหรือเท่ากับ 600 W เช่น ในภาระประเภท

คอมพิวเตอร์ส่วนบุคคล จอคอมพิวเตอร์ส่วนบุคคลและเครื่องรับโทรทัศน์ โดยทั่วไปอาจกล่าวโดยสรุปว่า

1. มาตรฐานเป็นตัวกำหนดให้ภาระในกลุ่มต่างๆ ต้องยินยอมที่จะอยู่ภายในข้อกำหนดที่ได้ระบุไว้ และต้นทุนทั้งหมดที่เกิดขึ้นจากผู้ผลิตที่ปฏิบัติตามมาตรฐานจะตกไปอยู่โดยตรงกับผู้บริโภค
2. รูปคลื่นกระแสไฟฟ้าที่มีค่า Crest-Factor สูงมีผลทำให้ยอดแรงดันแหล่งจ่ายถูกตัดหายไป
3. กระแสฮาร์มอนิกส์ที่มีอันดับเลขคู่ทำให้เกิดความไม่สมส่วนของรูปคลื่นกระแสแหล่งจ่าย
4. สิ่งที่ต้องการสำหรับโหลดไฟฟ้าขนาดมากกว่า 25 W คือ แยกออกเป็นอิสระ แต่ที่พิกัดต่ำกว่า 25 W ไม่มีข้อจำกัดที่ได้กำหนดไว้
5. ที่พิกัดกำลังไฟฟ้าของภาระต่ำกว่า 600 W ความต้องการของกลุ่ม A นั้นเข้มงวดน้อยกว่ากลุ่ม D

นอกจากมาตรฐาน IEC 1000-3-2 แล้ว ยังมีข้อกำหนดอื่นๆ เพื่อใช้ในการควบคุมการแพร่กระจายของกระแสฮาร์มอนิกส์อีก เช่น มาตรฐาน IEC/TS 1000-3-4 พิจารณาอุปกรณ์ที่ประกอบด้วยพิกัดกระแสมากกว่า 16 A ต่อเฟส ที่ต่อรวมอยู่ในระบบไฟฟ้า 1 เฟส พิกัดแรงดัน 240 V

ความถี่ 50 Hz หรือ 60 Hz หรือ ที่พิกัดแรงดันที่สามารถเพิ่มขึ้นได้ถึง 600 V ในระบบ 3 เฟส มาตรฐาน IEEE 519-1992 ได้กล่าวถึงข้อกำหนดสำหรับควบคุมฮาร์มอนิกส์ในระบบกำลังไฟฟ้าทั้งในส่วนที่เป็นของผู้ใช้ไฟฟ้าและภายในระบบบริการไฟฟ้า ข้อกำหนดสำหรับกระแสฮาร์มอนิกส์ที่แพร่กระจายกำหนดเป็นเปอร์เซ็นต์ของความถี่ความต้องการกระแสภาระสูงสุด I_L (องค์ประกอบความถี่มูลฐาน) ณ จุดต่อรวมของการไฟฟ้า (Point of Common Coupling, PCC)



รูปที่ 2.18 ขอบเขตของกระแสแหล่งจ่ายในกลุ่ม D ของมาตรฐาน IEC 1000-3-2

ตารางที่ 2.1 ข้อกำหนดสำหรับอุปกรณ์ในกลุ่ม A ของมาตรฐาน IEC 1000-3-2

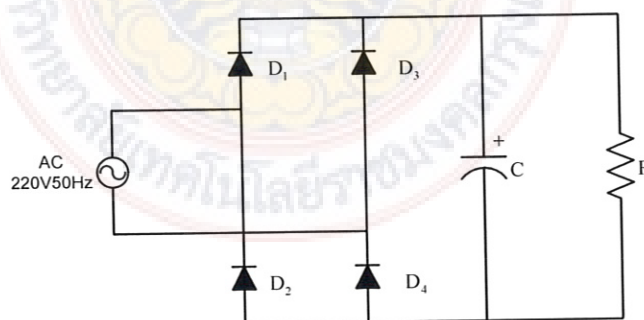
Harmonic Order	Maximum Permissible Harmonic Current
n	A
Odd Harmonics	
3	2.30
5	1.14
7	0.77
9	0.40
11	0.33
13	0.21
$15 \leq n \leq 39$	$0.15 \frac{15}{n}$
Even Harmonics	
2	1.08
4	0.43
6	0.30
$8 \leq n \leq 40$	$0.23 \frac{8}{n}$

9. ภาวะไม่เป็นเชิงเส้นและผลกระทบที่เกิดขึ้นกับโครงข่ายระบบจำหน่ายไฟฟ้า

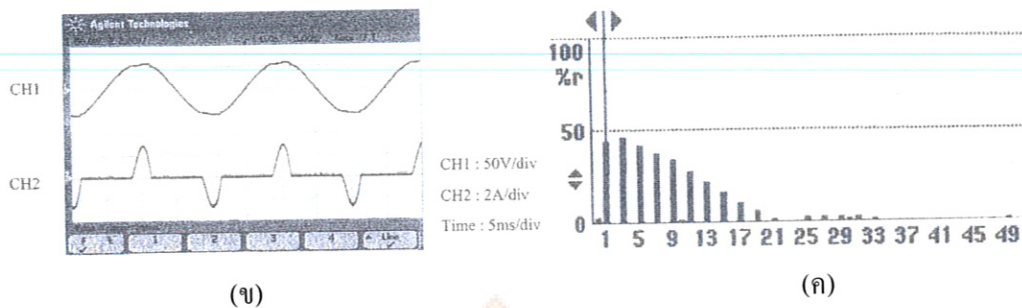
อุปกรณ์เครื่องใช้ไฟฟ้า-อิเล็กทรอนิกส์โดยทั่วไปที่ต่อเข้ากับระบบจำหน่ายของการไฟฟ้าส่วนใหญ่แล้วจำเป็นต้องมีการแปลงผันกำลังไฟฟ้าก่อนเสมอ ปกติทั่วไปจะใช้วงจรเรียงกระแส วงจรดังกล่าวมีผลทำให้กระแสด้านหน้าของวงจรมีลักษณะรูปคลื่นไม่เป็นสัญญาณไซน์ เนื่องจากมีคุณสมบัติของวงจรที่ไม่เป็นเชิงเส้น (Nonlinear Circuit) ซึ่งส่งผลทำให้มีปริมาณกระแสฮาร์มอนิกส์แพร่กระจายเข้าไปในระบบจำหน่ายไฟฟ้าแล้วทำให้เกิดความผิดเพี้ยนของแรงดันขึ้นที่จุดต่อร่วมของระบบ [4]

วงจรเรียงกระแสแปลงแรงดันทางด้านอินพุตจากไฟฟ้ากระแสสลับให้เป็นไฟฟ้ากระแสตรงออกทางด้านเอาต์พุต วงจรที่ไม่สามารถควบคุมแรงดันเอาต์พุตได้ เช่น วงจรเรียงกระแสชนิด 1 เฟส แบบไดโอดบริดจ์ที่ใช้กับอุปกรณ์และเครื่องใช้ไฟฟ้าที่มีพิกัดกำลังไฟฟ้าต่ำซึ่งจำเป็นต้องมีการแปลงผันกำลังไฟฟ้าก่อน เช่น เครื่องประจุแบตเตอรี่ และเครื่องใช้ไฟฟ้าภายในบ้าน เป็นต้น แต่ในวงจรเรียงกระแสดังกล่าวจำเป็นต้องต่อตัวเก็บประจุขนาดใหญ่ขนานที่ทางด้านเอาต์พุต เพื่อทำหน้าที่กรองแรงดันพลั่วให้มีขนาดต่ำลง ซึ่งเป็นสาเหตุทำให้กระแสที่แหล่งจ่ายมีลักษณะของสัญญาณไม่เป็นไซน์และมีเฟสไม่ตรงกับแรงดัน ส่งผลทำให้ค่าตัวประกอบกำลังต่ำ

กรณีที่ได้อธิบายมาในข้างต้นนี้มีขนาดของกระแสฮาร์มอนิกส์อันดับเลขคี่ที่สูงเมื่อเทียบกับขนาดกระแสที่ความถี่มูลฐาน ยกตัวอย่างเช่น ในวงจรเรียงกระแสแบบไดโอดบริดจ์ชนิด 1 เฟส ดังแสดงในรูปที่ 2.17 ประกอบด้วยรูปคลื่นของกระแสและแรงดันไฟฟ้าทางด้านอินพุต เป็นที่น่าสังเกตว่าขนาดขนาดของกระแสฮาร์มอนิกส์เลขคี่อันดับที่ 3, 5 และ 9 มีค่าที่สูงอย่างมีนัยสำคัญ ผลกระทบของภาวะแบบไม่เป็นเชิงเส้นที่พิกัดกำลังไฟฟ้าต่ำในโครงข่ายระบบจำหน่ายอาจมองได้ว่าไม่มากนัก แต่ถ้าภาวการณ์ถูกต่อเข้าไปในระบบเป็นจำนวนมากและพร้อมกัน ผลกระทบที่จะเกิดขึ้นจึงเป็นเรื่องที่ไม่สามารถมองข้ามได้



(ก)



รูปที่ 2.17 วงจรเรียงกระแสแบบไดโอดบริดจ์ชนิด 1 เฟส (ก) วงจรกำลัง (ข) รูปคลื่นแรงดัน และกระแสทางด้านอินพุต (ค) กระแสฮาร์โมนิกอันดับเลขคี่เมื่อเทียบกับความถี่หลักมูลฐาน

กระแสฮาร์โมนิกที่ถูกทำให้แพร่กระจายเข้าไปในระบบจำหน่ายของการไฟฟ้านั้นมีผลกระทบโดยตรงอย่างหลีกเลี่ยงไม่ได้หลายประการ ทั้งที่เกิดขึ้นอุปกรณ์ในระบบจำหน่ายของการไฟฟ้าเองหรือในส่วนของผู้ใช้ไฟฟ้า ซึ่งสามารถสรุปผลกระทบของกระแสฮาร์โมนิกได้พอสังเขป ดังนี้ [5, 6]

1. ทำให้เกิดความสูญเสียและความร้อนสูงใน หม้อแปลงไฟฟ้า ตัวเก็บประจุที่ขนานอยู่ในระบบสายเคเบิลในระบบจำหน่าย เครื่องจักรกลไฟฟ้ากระแสสลับและสวิตช์เกียร์ ซึ่งกระแสฮาร์โมนิกจะส่งผลทำให้อุปกรณ์เกิดสภาวะการทำงานที่ผิดปกติและมีอายุการใช้งานที่สั้นลง
2. ทำให้เกิดกระแสเกินในสายนิวตรอนของระบบ 3 เฟส 4 สาย ซึ่งกระแสดังกล่าวเกิดขึ้นจากกระแสฮาร์โมนิกเลขคี่ที่มีอันดับถูกหารด้วย 3 ลงตัว (จำนวนสามเท่า เช่น อันดับที่ 3rd, 9th, 15th, และอื่นๆ) ซึ่งมีลำดับเฟสเป็นศูนย์ (Zero Sequence) ผลที่เกิดขึ้นนี้ทำให้เกิดความร้อนสูงในสายนิวตรอนและเกิดการทำงานที่ผิดพลาดของอุปกรณ์ป้องกันประเภทรีเลย์
3. ตัวประกอบกำลังของระบบไฟฟ้าลดลงเพราะเนื่องจากค่ากำลังไฟฟ้าจริงของระบบมีค่าลดลงขณะที่กำลังไฟฟ้าปรากฏมีค่าคงที่
4. เกิดเรโซแนนซ์ทางไฟฟ้าขึ้นในระบบกำลังซึ่งทำให้ค่ายอดของแรงดันและกระแสใช้งานมีค่าสูงเกินพิกัด ส่งผลทำให้เกิดความเสียหายต่อตัวเก็บประจุและระบบการฉนวนในอุปกรณ์ที่ถูกต่อรวมอยู่ในระบบ โดยอุปกรณ์ที่ได้รับผลกระทบดังกล่าวจะมีอายุการใช้งานที่สั้นลง
5. แรงดันที่จุดต่อรวมในระบบเกิดความผิดปกติ เนื่องจากมีแรงดันตกคร่อมอิมพีแดนซ์ของระบบ (สายตัวนำ หรือ หม้อแปลง) แรงดันที่จุดต่อรวมที่ผิดปกติไปนี้จะมีผลกระทบโดยตรงต่อผู้ใช้ไฟฟ้ารายอื่นๆ ที่มีภาระต่อรวมอยู่ในจุดต่อรวมเดียวกันในระบบจำหน่ายของการไฟฟ้า ยกตัวอย่างเช่น เครื่องใช้ไฟฟ้าบางประเภทมีความต้องการรูปคลื่นสัญญาณของแรงดันทางด้าน

อินพุต ที่มีความถูกต้องเที่ยงตรงสูงทั้งค่าขนาด ค่าประสิทธิผลและตำแหน่งตัดผ่านจุดศูนย์กลางของแรงดัน

6. เกิดการรบกวนขึ้นในระบบโทรศัพท์
7. เกิดความผิดพลาดขึ้นในอุปกรณ์ประเภทตรวจวัด
8. เกิดการรบกวนเพิ่มขึ้น
9. มอเตอร์ไฟฟ้าเหนียวหรือส่วนกังหันในเครื่องกำเนิดไฟฟ้าเกิดการสั่น

การแก้ไขปัญหาอันเกิดจากกระแสฮาร์โมนิกส์สามารถทำได้ใน 2 แนวทางคือ วิธีแรกเป็นการแก้ไขปัญหที่กำลังเกิดขึ้นให้ลดความรุนแรงลงหลังจากที่ระบบจำหน่ายและผู้ใช้ไฟฟ้า ได้รับผลกระทบจากกระแสฮาร์โมนิกส์ที่แพร่กระจายออกมา ซึ่งสามารถจำแนกออกเป็นประเภทต่างๆ ได้ดังนี้

1. ใช้วิธีการปรับเปลี่ยนรูปแบบของการต่อหม้อแปลง
2. เพิ่มขนาดของสายนิวตรอนและเพิ่มพิกัดกระแสของตัวเก็บประจุ
3. ติดตั้งวงจรป้องกันการเกิดเรโซแนนซ์
4. ติดตั้งวงจรกรองแบบพาสซีฟหรือแอคทีฟ

วิธีแรกถูกใช้เมื่อเกิดปัญหขึ้นแล้วจึงทำการเข้าไปทำการแก้ไขปัญหาที่เกิดขึ้นที่ระบบ เพื่อเป็นการลดความรุนแรงของปัญหาลงซึ่งมีข้อด้อยดังนี้ คือ วิศวกรต้องเข้าไปปรับปรุงระบบกำลังใหม่หรือเข้าไปติดตั้งอุปกรณ์เพิ่มขึ้น ซึ่งวิธีการนี้ต้องอาศัยวิศวกรผู้มีการชำนาญคอยควบคุม ดูแล และออกแบบระบบอย่างรอบคอบ อีกทางเลือกหนึ่งของการลดปัญหาอันเกิดจากกระแสฮาร์โมนิกส์ คือไปกำจัดการแพร่กระจายของกระแสฮาร์โมนิกส์โดยการเปลี่ยนแปลงและออกแบบวงจรภาคจ่ายกำลังไฟฟ้า ดังนั้นเพื่อเป็นการแก้ไขปัญหาย่างยั่งยืนและถาวรทางเลือกที่สองของการแก้ไขจึงน่าจะเป็นทางเลือกที่ดีและมีความเหมาะสมต่อการแก้ไขปัญหให้หมดไป โดยผู้ออกแบบต้องเข้าไปเปลี่ยนแปลงและปรับปรุงให้วงจรแหล่งจ่ายกำลังนั้นๆ ไม่ให้มีการแพร่กระจายของกระแสฮาร์โมนิกส์ออกไปสู่ระบบไฟฟ้ากำลังเกินกว่ามาตรฐานที่ได้กำหนดไว้

10. มาตรฐานที่ใช้ควบคุมการแพร่กระจายของกระแสฮาร์โมนิกส์

ความเสียหายที่เกิดขึ้นเนื่องจากการแพร่กระจายของกระแสฮาร์โมนิกส์ได้ก่อให้เกิดการกระตุ้นให้มีการบังคับใช้ข้อกำหนดและมาตรฐาน เพื่อที่จะให้มีการจำกัดการแพร่กระจายกระแสฮาร์โมนิกส์อันเกิดจากการต่อภาระทางไฟฟ้าที่ไม่เป็นเชิงเส้นเข้าไปที่ระบบจำหน่ายของการไฟฟ้า มาตรฐานที่นำมาใช้เพื่อจำกัดการแพร่กระจายของกระแสฮาร์โมนิกส์ที่มีความเป็นมาพอสังเขป ดังนี้

นับตั้งแต่ปี ค.ศ. 1982 คณะกรรมการเทคนิคทางไฟฟ้านานาชาติ (International Electrotechnical Committee หรือ IEC) ได้นำเสนอมาตรฐาน IEC 555-2 ขึ้นมาใช้งาน ซึ่งหลังจากนั้นต่อมา ในปี ค.ศ. 1987 ได้ถูกนำมาใช้เป็นมาตรฐานในภาคพื้นยุโรป (European standard) ซึ่งเป็นที่รู้จักกันในนาม EN 60555-2 โดยคณะกรรมการแห่งภาคพื้นยุโรปได้กำหนดให้เป็นข้อบังคับใช้และเป็นมาตรฐานทางไฟฟ้า (the European Committee for Electro-technical Standardization-CENELEC) ในเวลาต่อมามาตรฐาน IEC 555-2 ได้ถูกแทนที่ด้วยมาตรฐาน IEC 1000-3-2 ในปี ค.ศ. 1995 พร้อมกันนั้นมาตรฐานดังกล่าวได้ถูกนำมาใช้โดย CENELEC ให้เป็นมาตรฐานแห่งภาคพื้นยุโรปที่รู้จักกันดีในชื่อ EN 61000-3-2 ครบจนถึงปัจจุบัน[4,7,8]

ตั้งแต่เดือนมกราคมปี ค.ศ.1996 มาตรฐาน IEC 1000-3-2 (IEC 555-2) มีผลบังคับใช้เพื่อจำกัดการดัดกระแสฮาร์โมนิกส์ของเครื่องใช้ไฟฟ้าในบ้านเรือนหรืออุปกรณ์ไฟฟ้าที่มีพิกัดกระแสไม่เกิน 16 A ต่อเฟส ซึ่งอุปกรณ์หรือภาระดังกล่าวถูกต่อเข้ากับระบบจำหน่ายแรงดันไฟฟ้าแรงดันต่ำชนิด 1 เฟส ที่มีความถี่ 50 Hz หรือ 60 Hz พิกัดแรงดันไฟฟ้า 220-240 V หรือระบบจำหน่ายที่มีพิกัดแรงดันไฟฟ้า 380-415 V ในกรณีของระบบประจําเป็น 3 เฟส ผลกระทบของมาตรฐานต่อขนาดและราคาของแหล่งจ่ายกำลังไฟฟ้ามีผลกระทบมากพอสมควร เช่น กรณีแหล่งจ่ายกำลังไฟฟ้าที่ถูกผลิตขึ้นมาเพื่อให้ได้มาตรฐาน IEC 1000-3-2 นั้น ต้องใช้ต้นทุนและขนาดที่เพิ่มขึ้นมาโดยเฉลี่ยแล้วประมาณ 20 %

หลักของการแก้ปัญหาที่เกิดจากการแพร่กระจายของกระแสฮาร์โมนิกส์ในมุมมองจากระดับของกำลังไฟฟ้า การแก้ปัญหาด้วยวิธีการแบบพาสซีฟถูกนำมาใช้อย่างกว้างขวาง [9] (ระดับกำลังไฟฟ้าที่มากกว่า 10 kW) และที่ระดับกำลังไฟฟ้าต่ำ (ต่ำกว่า 200 W) ที่ระดับพิกัดกำลังไฟฟ้าที่สูงวิธีแก้ปัญหาแบบพาสซีฟมีความเหมาะสมในระดับนี้เพราะว่า การใช้เทคนิคสวิตชิงความถี่สูงมีความยุ่งยากมาก ที่พิกัดกำลังไฟฟ้าต่ำ การแก้ไขปัญหาระบบฮาร์โมนิกส์ด้วยวิธีพาสซีฟมีความเหมาะสม เพราะต้นทุนน้อย สำหรับกรณีพิกัดกำลังไฟฟ้าระดับปานกลาง ในการแก้ไขด้วยวิธีการแบบแอคทีฟบนพื้นฐานของวงจรแก้ไขตัวประกอบกำลังแบบอิเล็กทรอนิกส์ที่ระบบทำงานอยู่ในโหมดของการสวิตชิงเป็นทางออกที่เหมาะสมในพิกัดกำลังไฟฟ้าระดับนี้แต่ต้องคำนึงถึงข้อจำกัดอันเกิดจากการแทรกสอดทางแม่เหล็กไฟฟ้า (EMI) และการเข้ากันของแม่เหล็กไฟฟ้า (EMC) ด้วย

ในความเป็นจริง กระแสฮาร์โมนิกส์เป็นสาเหตุทำให้เกิดปัญหาที่สำคัญขึ้นหลายประการ เช่น การทำงานของอุปกรณ์ป้องกันและอุปกรณ์ตัดตอนเกิดความผิดพลาด ความผิดเพี้ยนแรงดัน เพราะเนื่องจากแรงดันตกคร่อมอิมพีแดนซ์ของไลน์ในตำแหน่งอนุกรม มีความเป็นไปได้ที่จะมีการขยายความผิดเพี้ยนแรงดันเพราะเนื่องจากปรากฏการณ์เรโซแนนซ์ ความสูญเสียที่เพิ่มขึ้นในอุปกรณ์ที่ต่ออนุกรมกับระบบจำหน่ายกำลังไฟฟ้าและไปลดความเที่ยงตรงของเครื่องมือวัดใน

ตารางที่ 2.2 ข้อกำหนดสำหรับอุปกรณ์ในกลุ่ม C ของมาตรฐาน IEC 1000-3-2

Harmonic Order n	Maximum Permissible Harmonic Current Expressed as a Percentage of the Input Current At the Fundamental Frequency %
2	2
3	$3.PF^*$
5	10
7	7
9	5
$11 \leq n \leq 39$ (odd harmonics only)	3
PF^* Is the circuit power factor	

ตารางที่ 2.3 ข้อกำหนดสำหรับอุปกรณ์กลุ่ม D ของมาตรฐาน IEC 1000-3-2

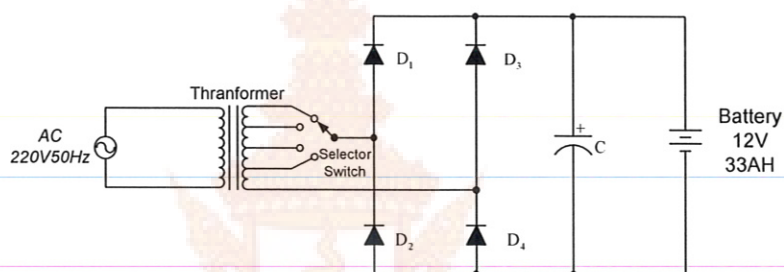
Harmonic Order n	Maximum Permissible Harmonic Current per Watt mA/W	Maximum Permissible Harmonic Current A
3	3.4	2.30
5	1.9	1.14
7	1.0	0.77
9	0.5	0.40
11	0.35	0.33
$13 \leq n \leq 39$	$\frac{3.85}{n}$	As in Class A

11. ชนิดของเครื่องประจุแบตเตอรี่ [10]

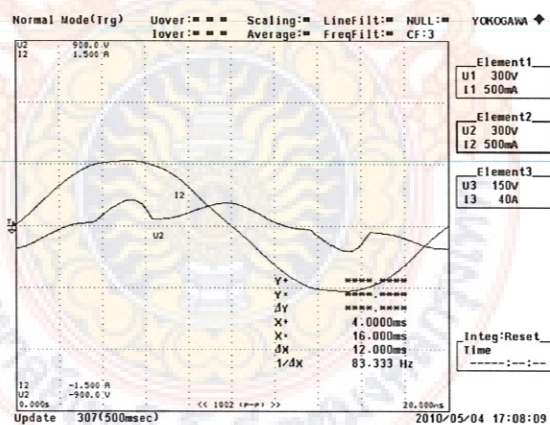
สามารถแบ่งย่อยตามวิธีการทำงานของวงจรประจุแบตเตอรี่ได้ดังนี้

1) แบบควบคุมด้วยขนาดแรงดัน (Amplitude Control)

เป็นเครื่องประจุแบตเตอรี่ที่มีส่วนประกอบที่ไม่ซับซ้อน ใช้ขนาดของแรงดันเป็นตัวควบคุมการประจุกระแสไฟฟ้าให้กับแบตเตอรี่ ข้อเด่นของเครื่องประจุกระแสไฟฟ้าแบบนี้ คือ มีส่วนประกอบง่ายใช้คุณลักษณะของโวลต์เป็นตัวควบคุม มีส่วนประกอบไม่ซับซ้อน ดูแลรักษาง่าย ข้อด้อยของเครื่องประจุแบตเตอรี่แบบนี้จะมีตัวประกอบกำลังไฟฟ้าต่ำ เนื่องจากคุณสมบัติของไดโอดกับหม้อแปลงไฟฟ้าเป็นผลทำให้เครื่องแบบนี้มีประสิทธิภาพต่ำไปด้วย ใช้หม้อแปลงไฟฟ้าขนาดใหญ่ มีน้ำหนักมาก



(ก)



(ข)

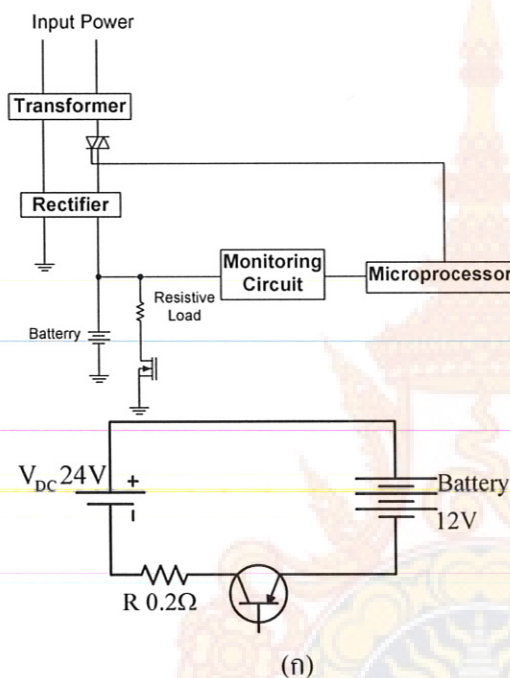
(ก) วงจรเครื่องประจุแบตเตอรี่แบบควบคุมด้วยขนาดแรงดัน

(ข) รูปคลื่นแรงดันและกระแสในชุด

รูปที่ 2.19 เครื่องประจุแบตเตอรี่แบบควบคุมด้วยขนาดแรงดัน

2) แบบควบคุมมุมทริก (Phase Control)

เป็นเครื่องประจุแบตเตอรี่ที่ได้รับการพัฒนามาจากเครื่องประจุแบตเตอรี่แบบควบคุมด้วยขนาดของแรงดัน โดยใช้สวิตช์อิเล็กทรอนิกส์ (Solid State Relay) มาช่วยในการควบคุมการประจุ ซึ่งจะมีการควบคุมได้ 2 แบบ คือ ประจุแบบกระแสคงที่ กับ ประจุแบบแรงดันคงที่ ข้อเด่น คือ สามารถควบคุมปริมาณกระแสที่ต้องการประจุได้ ควบคุมเวลาในการประจุได้ ข้อด้อย คือ ใช้หม้อแปลงไฟฟ้าขนาดใหญ่ และมีตัวประกอบกำลังไฟฟ้าต่ำ

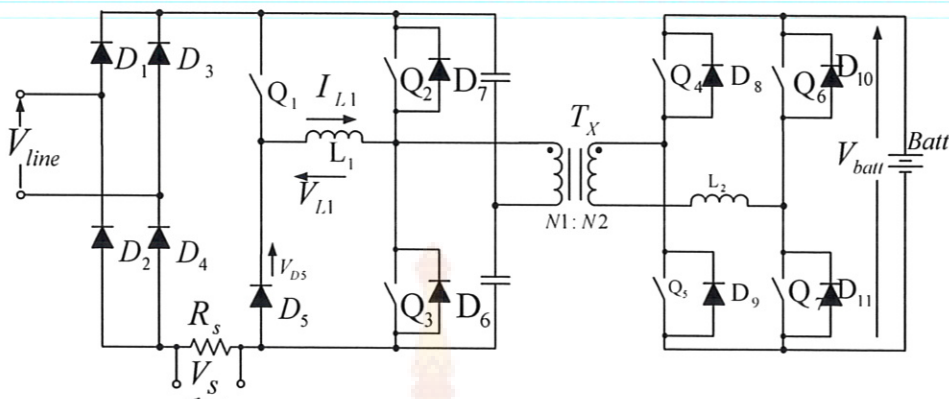


(ก) วงจรเครื่องประจุแบตเตอรี่แบบควบคุมมุมทริก (ข) วงจรเครื่องประจุแบตเตอรี่แบบกระแสคงที่

รูปที่ 2.20 เครื่องประจุแบตเตอรี่แบบควบคุมมุมทริก

3) แบบสวิตชิง (Switching)

เครื่องประจุแบตเตอรี่แบบนี้ใช้เทคโนโลยีของสวิตชิงมาใช้ในการพัฒนา โดยอาศัยข้อดีของวงจรแปลงผันแรงดัน (Switching Converter) คือ จะใช้หม้อแปลงขนาดเล็ก ทำงานที่ขนาดกำลังต่ำ แต่ใช้ความถี่ในการทำงานที่มากขึ้น ข้อเด่น คือ ใช้หม้อแปลงขนาดเล็ก น้ำหนักเบา ทำงานที่ตัวประกอบกำลังไฟฟ้าสูง ข้อด้อย คือ มีวงจรที่ซับซ้อนมากขึ้น การควบคุมยากขึ้น สร้างฮาร์โมนิกส์ป้อนให้กับระบบไฟฟ้าที่ต่ออยู่



รูปที่ 2.21 วงจรเครื่องประจุแบตเตอรี่แบบสวิตชิงแบบ Two-switch buck boost AC/DC converter and dual active bridge isolated bidirectional dc/dc converter (2SBBDAB)

12. เทคนิคของการแก้ไขตัวประกอบกำลัง

วงจรแปลงผันแรงดันไฟฟ้ากระแสสลับเป็นแรงดันไฟฟ้ากระแสตรงเป็นองค์ประกอบหนึ่งของแหล่งจ่ายแรงดันไฟฟ้าแบบสวิตชิงที่ทำหน้าที่จ่ายกำลังไฟฟ้าให้กับภาระประเภทอุปกรณ์อิเล็กทรอนิกส์ซึ่งถือได้ว่าเป็นภาระที่มีความสำคัญอย่างยิ่งต่อระบบจำหน่ายของการไฟฟ้าในปัจจุบัน

โดยทั่วไปวงจรแปลงผันดังกล่าวทำหน้าที่แปลงแรงดันไฟฟ้ากระแสสลับที่มีความถี่ 50 Hz ไปเป็นแรงดันไฟฟ้ากระแสตรง การแปลงผันใช้วงจรเรียงกระแสแบบไดโอดบริดจ์ เมื่อต้องการลดการกระเพื่อมของแรงดันทางด้านเอาต์พุต ตัวเก็บประจุขนาดใหญ่สำหรับทำหน้าที่กรองแรงดันได้ถูกนำมาติดตั้งไว้ในตำแหน่งเอาต์พุตของวงจรเรียงกระแสดังกล่าว เนื่องจากตัวเก็บประจุมีขนาดใหญ่ จึงทำให้วงจรเรียงกระแสชนิดนี้ถึงกระแสนี้มีลักษณะเป็นพัลส์ที่มีค่ายอดของกระแสสูง กระแสดังกล่าวประกอบไปด้วยขนาดกระแสฮาร์มอนิกส์ในอันดับต่าง ๆ เช่น อันดับที่ 3 5 7 และ 9 เมื่อภาระชนิดไม่เป็นเชิงเส้นชนิดนี้ถูกนำมาต่อใช้งานเพิ่มมากขึ้นในระบบไฟฟ้า ระบบจึงกลายเป็นแหล่งกำเนิดของกระแสฮาร์มอนิกส์ให้กับระบบไฟฟ้า ส่งผลให้ค่าความผิดเพี้ยนฮาร์มอนิกส์รวมทั้งกระแสและแรงดันไฟฟ้ามีค่าสูง ตัวประกอบกำลังอินพุตมีค่าต่ำและเกิดปัญหาด้านคุณภาพไฟฟ้าด้านต่างๆ อีกมากมาย ปัญหาที่เกิดขึ้นได้กระตุ้นให้เกิดมีการกำหนดให้ผู้ใช้อุปกรณ์ไฟฟ้าปฏิบัติตามกฎและข้อแนะนำของมาตรฐานฮาร์มอนิกส์ที่ได้บัญญัติขึ้น ซึ่งรายละเอียดของข้อกำหนดได้กล่าวถึงการจำกัดปริมาณความผิดเพี้ยนของกระแสที่ยอมรับได้ในระบบไฟฟ้า ส่งผลให้วงจรเรียงกระแสอย่างง่ายชนิดไดโอดบริดจ์ 1 เฟส และ 3 เฟส อาจจะไม่ถูกนำมาใช้งานอีกต่อไปในอนาคต ดังนั้นการ

ออกแบบวงจรเรียงกระแสที่มีความสามารถในการแก้ไขตัวประกอบกำลังให้ใกล้เคียงหนึ่ง และให้ความผิดเพี้ยนของกระแสทางด้านอินพุตต่ำจึงเป็นสิ่งประเด็นหัวข้อที่มีความท้าทายและมีความสำคัญอย่างยิ่งในการศึกษาค้นคว้าและพัฒนาทั้งในปัจจุบันและอนาคต

ในตอนๆ 12.1 และ 12.2 ของงานวิจัยนี้จะได้นำเสนอความรู้เบื้องต้นของวิธีการแก้ไขตัวประกอบกำลังในทั้ง 2 แบบอย่างพอสังเขป ดังนี้

1. วิธีการออกแบบแอคทีฟ
2. วิธีการแบบพาสซีฟ

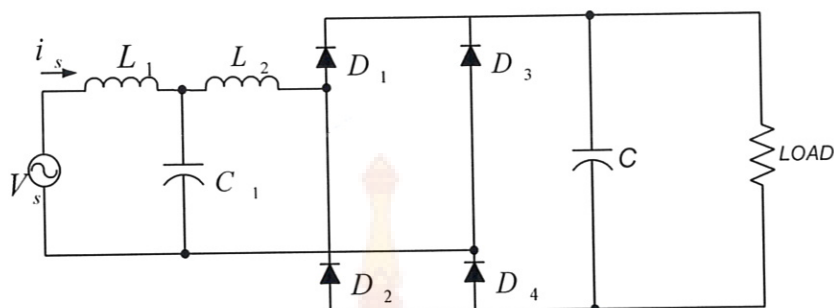
สิ่งที่สำคัญของเนื้อหาในส่วนนี้จะมุ่งเน้นไปที่การใช้วงจรแปลงผันแรงดันไฟฟ้ากระแสตรงเป็นไฟฟ้ากระแสตรงแบบ บัสต์ ที่มีคุณสมบัติและความสามารถในการนำมาใช้เป็นโมดูลเรียงกระแสเพื่อทำหน้าที่แก้ไขตัวประกอบกำลังในวิธีแบบแอคทีฟและสามารถควบคุมแรงดันเอาต์พุตให้มีผลการตอบสนองได้ดีและยังได้กล่าวถึงแบบแผนต่างๆ ของกรรมวิธีการควบคุมวงจรเครื่องแปลงผันที่ทำหน้าที่แก้ไขตัวประกอบกำลังแบบแอคทีฟ เช่นกัน

12.1 เทคนิคการแก้ไขตัวประกอบกำลังแบบพาสซีฟ

ในช่วงหลายปีที่ผ่านมา วงจรเครื่องแปลงผันแรงดันไฟฟ้ากระแสสลับเป็นไฟฟ้ากระแสตรงที่ทำงานอยู่ในโหมดการสวิตช์ ชนิดหนึ่งเฟส ได้ถูกนำมาใช้เพิ่มขึ้นอย่างแพร่หลายในภาคธุรกิจอุตสาหกรรม เครื่องใช้ครัวเรือน การบินและอวกาศ เพราะวาระบบมีข้อดีคือ ประสิทธิภาพสูง ขนาดเล็กและน้ำหนักเบา อย่างไรก็ตาม การใช้งานที่เพิ่มขึ้นของเครื่องแปลงผันกำลังไฟฟ้านี้ได้ก่อให้เกิดปัญหากระแสฮาร์โมนิกส์ขึ้นในระบบไฟฟ้ากำลังเป็นผลทำให้ค่าตัวประกอบกำลังของระบบไฟฟ้าลดลง ดังนั้น เพื่อเป็นการปรับปรุงคุณภาพไฟฟ้าให้ดีขึ้น รูปแบบของการแก้ไขตัวประกอบกำลังแบบต่างๆ จึงได้นำมาเสนออย่างต่อเนื่อง ในปัจจุบันได้มีการบังคับใช้ข้อกำหนดและมาตรฐานฮาร์โมนิกส์ต่าง ๆ เช่น มาตรฐาน IEC 1000-3-2 ได้ถูกประกาศใช้เพื่อปรับปรุงคุณภาพไฟฟ้า ด้วยมาตรฐานดังกล่าว ในปัจจุบันผู้ผลิตแหล่งจ่ายกำลังไฟฟ้าต้องปฏิบัติตามกฎระเบียบต่างๆ อย่างเคร่งครัด เพื่อแก้ปัญหาการรบกวนที่เกิดจากกระแสฮาร์โมนิกส์ที่ถูกจ่ายเข้าไปในระบบไฟฟ้า วิธีการแก้ไขตัวประกอบกำลังสามารถจำแนกออกได้เป็นแบบพาสซีฟและแบบแอคทีฟ

ในการแก้ไขตัวประกอบกำลังแบบพาสซีฟ [4] ตัวกรองขดลวดเหนี่ยวนำและตัวเก็บประจุถูกติดตั้งอยู่ระหว่างระบบไฟฟ้ากระแสสลับและภาคอินพุตของวงจรเรียงกระแสชนิดไดโอดบริดจ์ เครื่องแปลงผันแรงดันไฟฟ้ากระแสสลับเป็นไฟฟ้ากระแสตรงที่ติดตั้งวงจรกรองแบบพาสซีฟถูกแสดงในรูปที่ 2.22 ด้วยเทคนิคนี้ระบบมีความง่ายและทนทานแต่อย่างไรก็ตามระบบมีขนาดใหญ่ น้ำหนักมากและตัวประกอบกำลังที่ได้ไม่สามารถแก้ไขให้ใกล้เคียงหนึ่ง เพราะฉะนั้น มันจึงไม่ใช่

แนวทางที่จะใช้แก้ไขปัญหาระบบฮาร์มอนิกส์ให้ผ่านมาตรฐานที่ได้กำหนดไว้ในปัจจุบัน โดยความเป็นจริงแล้ว มันมีความเหมาะสมกับระบบที่มีพิกัดกำลังภาระทางไฟฟ้าไม่เกิน 25 W



รูปที่ 2.22 เทคนิคการแก้ไขตัวประกอบกำลังแบบพาสซีฟ

12.2 เทคนิคการควบคุมวงจรเรียงกระแสที่สามารถแก้ไขตัวประกอบกำลังด้วยวิธีแบบแอคทีฟ

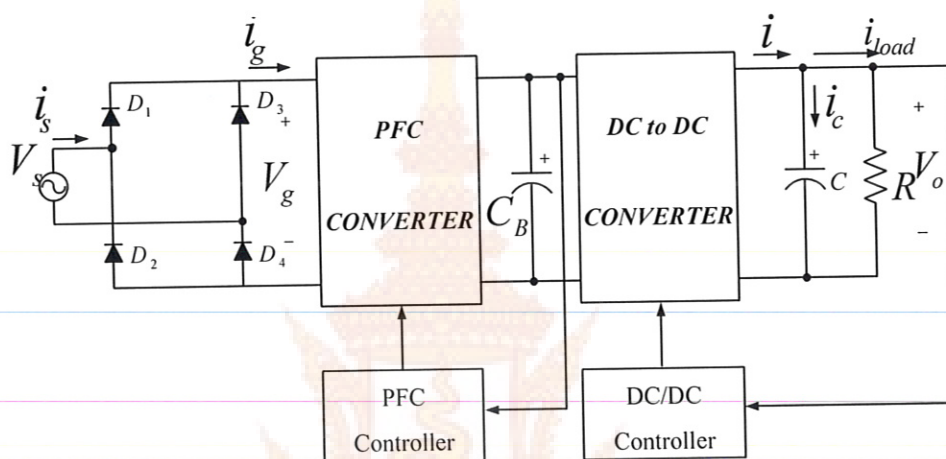
[4]

เครื่องแปลงผันกำลังไฟฟ้าโดยทั่วไปประกอบด้วยภาควงจรเรียงกระแสชนิดไดโอดบริดจ์ที่ใช้ตัวเก็บประจุกรองแรงดันขนาดใหญ่ต่ออยู่ ณ ตำแหน่งเอาต์พุต ทำให้ระบบดังกล่าวมีคุณสมบัติเพี้ยนไปจากสัญญาณไซน์ กระแสดังกล่าวประกอบด้วยค่ากระแสฮาร์มอนิกส์สูงซึ่งอาจจะไม่เกินมาตรฐาน IEC 1000-3-2 เพื่อให้กระแสดังกล่าวเป็นไปตามมาตรฐาน ผู้ผลิตแหล่งจ่ายไฟฟ้าต้องติดตั้งวงจรแก้ไขตัวประกอบกำลังเพิ่มไว้ที่ตำแหน่งด้านหน้าของเครื่องแปลงผันแรงดันไฟฟ้า กระแสตรงเป็นไฟฟ้ากระแสตรงที่ทำหน้าที่แยกโคจรทางไฟฟ้าและควบคุมแรงดันทางด้านเอาต์พุต ดังนั้นระบบดังกล่าวมีความจำเป็นต้องใช้เครื่องแปลงผัน 2 สถานะ สถานะที่ 1 ใช้สำหรับการแก้ไขตัวประกอบกำลังให้มีค่าสูงขึ้นและสถานะที่ 2 ใช้เพื่อควบคุมแรงดันทางด้านเอาต์พุตได้คงที่ โครงสร้างระบบเพื่อการแก้ไขตัวประกอบกำลังแบบแอคทีฟชนิด 1 เฟส สามารถแยกออกได้เป็น 2 รูปแบบคือ วิธีการแปลงแบบ 1 และ 2 ขั้นตอน

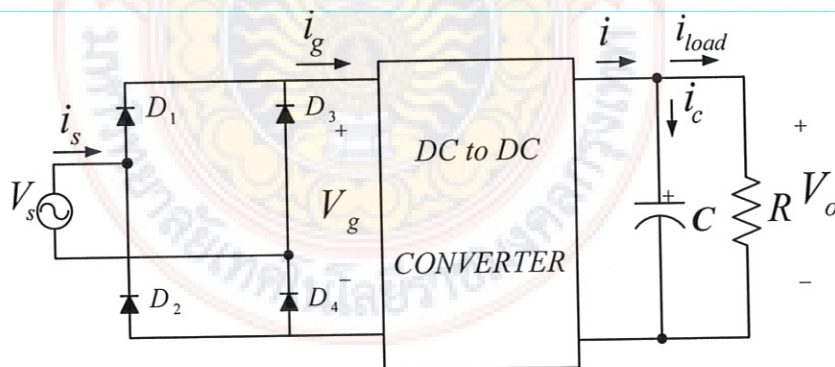
วิธีการแปลงแบบ 2 ขั้นตอนนั้นเป็นวิธีที่ถูกนำมาใช้อย่างแพร่หลายในระบบที่ต้องการกำลังไฟฟ้าสูง บล็อกไดอะแกรมของเครื่องแปลงผันที่สามารถแก้ไขตัวประกอบกำลังได้ใน 2 ขั้นตอนถูกแสดงอยู่ในรูปที่ 2.23 ด้วยวิธีนี้ ระบบประกอบด้วยวงจรกำลัง 2 ส่วนที่แยกกันเป็นอิสระ ภาคแรกเป็นเครื่องแปลงผันส่วนหน้าที่ทำหน้าที่แก้ไขตัวประกอบกำลัง โดยทั่วไปใช้วงจรแปลงผันชนิด บัสต์ บัค-บัสต์ (Buck-Boost) ในส่วนที่ 2 เป็นการแปลงแรงดันไฟฟ้ากระแสตรงเป็นไฟฟ้ากระแสตรงที่ทำหน้าที่แยกโคจรทางไฟฟ้าระหว่างภาคอินพุตกับภาคเอาต์พุตซึ่งเครื่องแปลง

ผันที่ใช้อย่างน้อยต้องมี 1 สวิตช์ โดยที่ระบบถูกควบคุมด้วยชุดควบคุมแบบอิสระเพื่อควบคุมแรงดันทางด้านเอาต์พุตให้คงที่

ด้วยเทคนิคของการแก้ไขตัวประกอบกำลังไฟฟ้าแบบแยกทีฟ แหล่งจ่ายกำลังไฟฟ้าที่ทำงานในโหมดการสวิตช์ถูกนำมาใช้เพื่อที่จะปรับปรุงรูปคลื่นรูปคลื่นกระแสอินพุตให้เป็นสัญญาณไซน์และมีค่าของเฟสตรงกันกับแรงดันอินพุต ดังนั้นค่าตัวประกอบกำลังของระบบสามารถแก้ไขให้มีค่าใกล้เคียงหนึ่งได้ ในรูปที่ 2.24 แสดงบล็อกไดอะแกรมพื้นฐานของเทคนิคการแก้ไขตัวประกอบกำลังแบบแยกทีฟ



รูปที่ 2.23 บล็อกไดอะแกรมของแหล่งจ่ายกำลังไฟฟ้าแบบสองภาค



รูปที่ 2.24 เทคนิคการแก้ไขตัวประกอบกำลังแบบแยกทีฟ

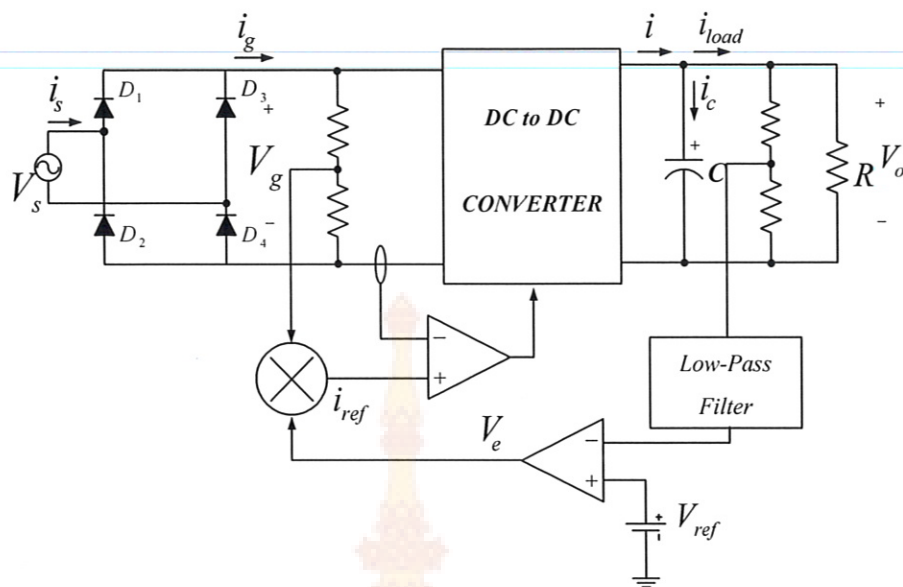
การแก้ไขตัวประกอบกำลังสามารถทำได้โดยการควบคุมที่กระแสไลน์ให้เป็นไปตามสัญญาณไซน์เพราะฉะนั้นการควบคุมกระแสไลน์ในวิธีแบบแอกทีฟจึงเป็นวิธีที่จำเป็น การควบคุมกระแสไลน์ทางด้านอินพุตสามารถควบคุมการทำงานได้หลายโหมด เช่น การควบคุมกระแสในโหมดกระแสไหลอย่างต่อเนื่องและโหมดกระแสไหลไม่ต่อเนื่อง การควบคุมในโหมดสภาวะเส้นแบ่งเขตระหว่างกระแสชดวคเหนี่ยวนำไหลอย่างไม่ต่อเนื่องและต่อเนื่อง

เพื่อให้บรรลุตามวัตถุประสงค์ที่ได้กำหนดไว้ รูปป้อนกลับของแรงดันทางด้านเอาต์พุตจึงถูกนำมาใช้เป็นรูปควบคุมภายนอกเพื่อให้ระบบสามารถควบคุมแรงดันทางด้านเอาต์พุตได้ ส่วนรูปในเป็นการควบคุมกระแสที่ชดวคเหนี่ยวนำเพื่อบังคับให้กระแสที่แหล่งจ่ายให้เป็นไปดังความต้องการ โดยสามารถควบคุมได้ในสองลักษณะดังนี้ คือ หลักการควบคุมด้วยการคูณ (Multiplier Approach Control) และวิธีควบคุมด้วยหลักการตามแรงดัน (Voltage-Follower Approach Control)

12.2.1 เทคนิคการควบคุมกระแส สัญญาณกระแสอ้างอิงไซน์ที่เหมาะสมถูกสร้างขึ้นจากสัญญาณอ้างอิงของแรงดัน ไลน์แบบเต็มคลื่นคูณกับเอาต์พุตของชุดขยายสัญญาณผิดพลาดแรงดัน ซึ่งขนาดของสัญญาณที่ได้จากการคูณถูกกำหนดให้เป็นสัญญาณกระแสอ้างอิง โดยทั่วไปวิธีการควบคุมกระแสสามารถนำมาใช้ได้กับการควบคุมแบบแอกทีฟของกระแสไลน์ ซึ่งสามารถแบ่งแยกย่อยออกเป็น 3 ลักษณะคือ การควบคุมกระแสเฉลี่ย (Average Current Control) การควบคุมกระแสสูงสุด (Peak Current Control) และ การควบคุมแบบฮิสเทอรีซิส (Variable-Hysteresis Control)

12.2.1.1 การควบคุมกระแสเฉลี่ย การควบคุมกระแสชนิดนี้บางครั้งเรียกว่าการควบคุมแบบพีดับเบิลเอ็ม (PWM) ดังแสดงในรูป 2.25 การควบคุมนี้ได้จากการเปรียบเทียบสัญญาณกระแสชดวคเหนี่ยวนำและสัญญาณรูปคลื่นฟันเลื่อย สวิตช์หยุดนำกระแสเมื่อผลรวมของสัญญาณกระแสรูปคลื่นสัญญาณฟันเลื่อยเกินค่าอ้างอิงและสวิตช์จะนำกระแสก็ต่อเมื่อผลรวมตกลงต่ำกว่าค่าอ้างอิง การควบคุมชนิดนี้กำหนดให้การทำงานของสวิตช์เป็นความถี่คงที่ ข้อดีของการควบคุมกระแสชนิดนี้เมื่อนำไปใช้ควบคุมแหล่งจ่ายแรงดันที่ให้อำนาจประกอบกำลังสูงคือ ความผิดเพี้ยนของกระแสแหล่งจ่ายมีค่าน้อยมากเมื่อเทียบกับระบบควบคุมที่กล่าวมาข้างต้น อีกทั้งยังสามารถรองรับสัญญาณรบกวนที่ความถี่การสวิตช์ได้โดยง่าย แต่ด้วยการควบคุมชนิดนี้จำเป็นต้องวัดกระแสแหล่งจ่ายหรือกระแสชดวคเหนี่ยวนำซึ่งอาจทำให้เกิดความยุ่งยากกว่าระบบที่ต้องวัดกระแสที่สวิตช์ ซึ่งในปัจจุบันมีวงจรรวมหลากหลายเบอร์ให้เลือกเพื่อควบคุมโหมดกระแสเฉลี่ยเป็นไปโดยง่ายและสะดวก เช่น ไอซีเบอร์ UC3854 ของบริษัท Unitrode, เบอร์ TK83854 ของ Toko, เบอร์ L4981A/B จาก Tomson และเบอร์ TA8310P จาก Toshiba

แต่อย่างไรก็ตาม วงจรรวมที่ออกแบบมาสำหรับควบคุมโหมดกระแสสูงสุดสามารถปรับปรุงให้ควบคุมในโหมดกระแสเฉลี่ยได้เช่นกัน

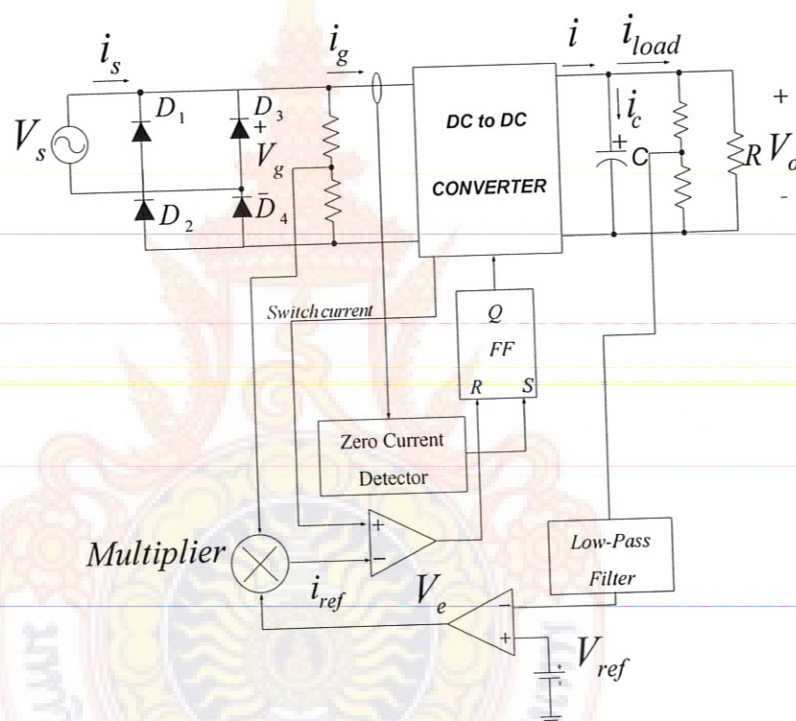


รูปที่ 2.25 แบบแผนการควบคุมกระแสเฉลี่ย

12.2.1.2 การควบคุมค่าสูงสุดของกระแส ในการควบคุมโหมดกระแสชนิดนี้

สวิตช์ถูกควบคุมให้ทำงานตามจังหวะสัญญาณนาฬิกา (ความถี่คงที่) และคงยังทำงานค้างอยู่จนกระทั่งกระแสที่ถูกวัดเข้ามามีค่าเท่ากับค่าตั้งที่กำหนดไว้ ณ เวลานั้นสวิตช์จะถูกสั่งให้หยุดนำกระแส การควบคุมกระแสนี้สามารถทำงานบนพื้นฐานการวัดอย่างใดอย่างหนึ่งระหว่างกระแสขดลวดเหนี่ยวนำหรือกระแสสวิตช์ การควบคุมในโหมดกระแสสูงสุดนี้เป็นการควบคุมกระแสชนิดหนึ่งที่มีความนิยมในแหล่งจ่ายแรงดันไฟฟ้าประเภทแปลงแรงดันไฟฟ้ากระแสตรงเป็นไฟฟ้ากระแสตรง อย่างไรก็ตาม ระบบนี้ยังคงมีข้อจำกัดบางประการเมื่อมันถูกนำมาใช้งานกับระบบแปลงผันแรงดันไฟฟ้ากระแสสลับเป็นไฟฟ้ากระแสตรงที่ตัวประกอบกำลังใกล้เคียงหนึ่ง ดังเช่น มีความยุ่งยากที่จะทำการสร้างสัญญาณชดเชยสัญญาณพื้นเลื้อยภายนอก ยิ่งกว่านั้น เกิดความผิดเพี้ยนขึ้นบ้างในกระแสแหล่งจ่ายเพราะเป็นเนื่องมาจากพฤติกรรมของระบบควบคุมนี้เอง แต่การควบคุมโหมดกระแสสูงสุดนี้ยังมีข้อเด่นเหนือการควบคุมในโหมดอื่นๆ คือ ไม่มีความยุ่งยากซับซ้อนสามารถสร้างระบบควบคุมขึ้นมายากกว่าระบบควบคุมกระแสแบบอื่นๆ และสามารถสร้างระบบป้องกันกระแสเกินได้ง่าย ในปัจจุบันมีหลายบริษัทที่ได้พัฒนางจรวมเพื่อใช้ทำหน้าที่ควบคุมกระแสในโหมดนี้ เช่น ไอซีเบอร์ ML4812 และ ML4819 จากบริษัท Micro Linear เบอร์ TK84812 และ TK84816 จาก Toko

12.2.1.3 การควบคุมแบบฮิสเทอรีซิส การควบคุมกระแสชนิดนี้ทำงานด้วยการเปรียบเทียบปริมาณกระแสขดลวดเหนี่ยวนำจริงกับค่ากระแสขดลวดเหนี่ยวนำอ้างอิงโดยอาศัยชุดเปรียบเทียบฮิสเทอรีซิส ผลที่ได้คือ สวิตช์ถูกควบคุมให้นำกระแสเมื่อกระแสขดลวดเหนี่ยวนำที่ไหลมีค่าต่ำกว่าค่าอ้างอิงที่ตั้งไว้และหยุดนำกระแสเมื่อกระแสจริงสูงกว่าค่ากระแสอ้างอิงที่กำหนด โดยผลรวมของสองค่าสัญญาณอ้างอิงด้านบนและด้านล่างที่กำหนดไว้คือแถบความกว้างของกระแสอ้างอิงนั่นเอง ข้อดีของการควบคุมชนิดนี้คือ ระบบสามารถควบคุมให้เกิดความผิดเพี้ยนรูปคลื่นกระแสแหล่งจ่ายต่ำ ง่ายในการสร้างวงจรเพื่อใช้งาน ระบบควบคุมมีความคงทนและเสถียรภาพสูง แต่ระบบมีข้อเสียคือ ความถี่ในการทำงานนั้นไม่คงที่



รูปที่ 2.26 แบบแผนการควบคุมขอบเขต

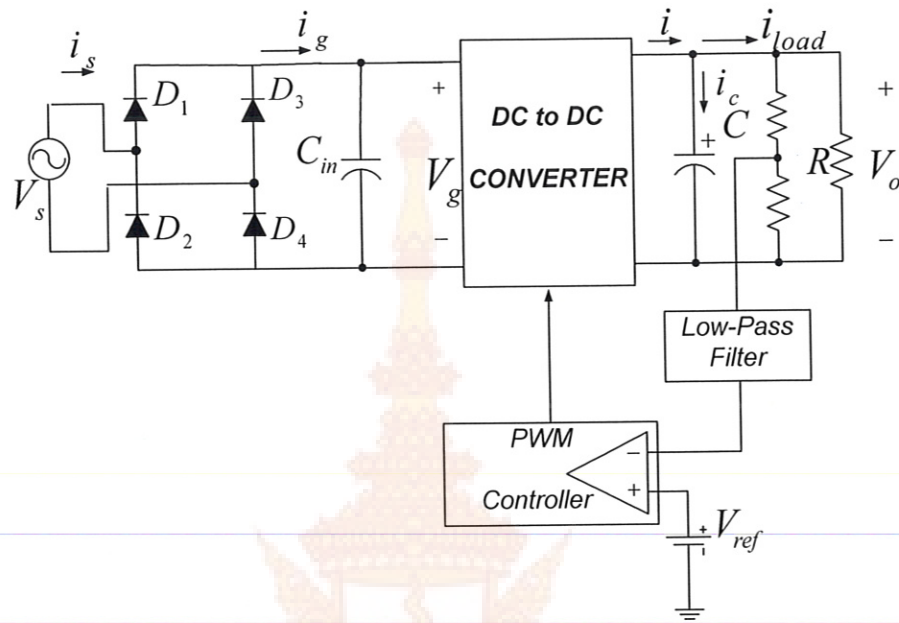
12.2.2 การควบคุมที่ขอบเขต ดังแสดงในรูปที่ 2.26 ในวิธีการควบคุมชนิดนี้ช่วงเวลาการนำของสวิตช์ถูกกำหนดให้คงที่ในระหว่างคาบเวลาของกระแสไซน์และสวิตช์ถูกขับนำกระแสเมื่อกระแสขดลวดเหนี่ยวนำตกถึงค่าศูนย์ ดังนั้น เครื่องแปลงผันทำงานที่ขอบเขตระหว่างโหมดกระแสขดลวดเหนี่ยวนำไหลอย่างต่อเนื่องและไม่ต่อเนื่อง กระแสอินพุตชั่วขณะถูกควบคุมให้มีลักษณะเป็นสัญญาณที่เรียงกันของรูปกระแสดสามเหลี่ยมที่ค่ายอดและค่าเฉลี่ยแปรเป็นสัดส่วนกันกับ

แรงดันไลน์ชั่วขณะ ความถี่สวิตช์เปลี่ยนแปลงไปตามช่วงเวลาไลน์และการะของระบบมีผลกระทบ ต่อความถี่สวิตช์อย่างมาก

12.2.3 การควบคุมแหล่งจ่ายแรงดันไฟฟ้าด้วยหลักการตามแรงดัน ในวงจรการแก้ตัว ประกอบกำลังทั้งหมด มีความต้องการนำขดลวดเหนี่ยวนำ อินพุตต่อร่วมกับวงจรบริดจ์เรียง กระแส เพราะเนื่องจากต้องการความต่อเนื่องของกระแสที่ขดลวดตัวนำ เราจึงเรียกลักษณะของการ ต่อแบบนี้ว่า กลไกของการขับกระแส (current Driven) ขดลวดเหนี่ยวนำอินพุตสามารถทำงาน ภายใต้สภาวะโหมคใดโหมคหนึ่งได้ดังต่อไปนี้ โหมคกระแสไหลต่อเนื่อง หรือโหมคกระแสไหล ไม่ต่อเนื่อง ในโหมคกระแสไม่ต่อเนื่องนั้นตัวแปรที่สำคัญอยู่ที่วงรอบของการสวิตช์ซึ่ง ยอดของ กระแสขดลวดเหนี่ยวนำถูกสุ่มและควบคุมให้เป็นไปตามแรงดันแหล่งจ่ายโดยอัตโนมัติ ด้วย คุณสมบัติเช่นนี้เองของวงจรที่ทำงานในโหมคกระแสไหลไม่ต่อเนื่องจึงถูกเรียกว่า การแก้ไขตัว ประกอบกำลังด้วยตัวเอง (Self-Power Factor Correction) เพราะว่าเนื่องจากระบบไม่จำเป็นต้องมี อุปกรณ์ควบคุมกระแสอินพุต กระแสอินพุตเฉลี่ยที่ได้นั้นเป็นไปตามแรงดันอินพุตตามธรรมชาติ ด้วย ลักษณะของการควบคุมเช่นนี้จึงให้ข้อดีว่าการควบคุมบนหลักการอื่น อย่างไรก็ตาม ขดลวด เหนี่ยวนำอินพุตขณะที่ทำงานอยู่ในโหมคกระแสไหลไม่ต่อเนื่องไม่สามารถรองรับพลังงานอินพุต ที่มากเกินไปได้เพราะเนื่องด้วยตัวเหนี่ยวนำต้องดึงพลังงานที่จะถูกเก็บเข้ามาและปล่อยออกไปก่อน สิ้นสุดของแต่ละวงรอบของการสวิตช์ ด้วยผลเช่นนี้ตัวเก็บประจุขนาดใหญ่ จึงถูกใช้เพื่อที่จะสมดุล กำลังไฟฟ้าชั่วขณะระหว่างอินพุตและเอาต์พุตดังแสดงในภาพที่ 2.27 กล่าวเพิ่มเติมได้อีกว่า ถ้า โหมคการนำกระแสแบบไม่ต่อเนื่องถูกใช้งานกระแสอินพุตจะมีลักษณะเป็นแนวรูปคลื่นพัลส์ สามเหลี่ยมปกติที่ประกอบด้วยอัตราส่วนวัฏจักรงานที่เกือบคงที่ ในกรณีนี้ ตัวกรองกระแสด้าน อินพุตมีความจำเป็นอย่างมากเพื่อกรองกระแสที่มีลักษณะเป็นพัลส์ให้เป็นรูปสัญญาณต่อเนื่อง เห็น ได้ชัดเจนว่า เพื่อที่จะให้เกิดความมั่นใจว่าระบบให้ค่าตัวประกอบกำลังสูงกระแสเฉลี่ยของกระแส พัลส์ต้องมีลักษณะเป็นไปตามแรงดันอินพุตทั้งเฟสและรูปคลื่น

ระบบการควบคุมชนิดนี้สามารถใช้กับเครื่องแปลงผันแรงดันไฟฟ้ากระแสตรงเป็น แรงดันไฟฟ้ากระแสตรงแบบพื้นฐานได้หลากหลายแบบ เช่น วงจรบัค บูสต์ บัค-บูสต์ ฟลายแบค ฟอร์-เวด ชุก และ ซิฟิค อย่างไรก็ตาม เมื่อถูกนำไปใช้เป็นวงจรเรียงกระแสที่ให้ค่าตัวประกอบกำลัง สูงนั้นแต่ละโทปโพลีอาจดึงรูปคลื่นของกระแสอินพุตที่ถูกเฉลี่ยแล้วให้แตกต่างกันไปหลักการ ควบคุมชนิดนี้ไม่จำเป็นใช้วงจรรวมชนิดพิเศษและสามารถควบคุมให้ทำงานที่ความถี่สวิตช์ซึ่งที่ได้ ข้อดีอีกประการของระบบควบคุมแบบนี้ก็คือ เมื่อความถี่แหล่งจ่ายเปลี่ยน (มากกว่าความถี่ปกติ) ระบบยังคงสามารถควบคุมให้เป็นไปตามหลักการตามแรงดันได้เป็นอย่างดี อย่างไรก็ตามการ

ควบคุมแบบนี้มีข้อดีอยู่บางประการ เช่น เครื่องแปลงผันทั้งหมดที่กล่าวมาทำงานอยู่ในโหมดกระแสไหลไม่ต่อเนื่อง



รูปที่ 2.27 แบบแผนการควบคุมแบบตามแรงดัน

ดังนั้นความเครียดในสารกึ่งตัวนำกำลังถูกทำให้เพิ่มขึ้นในทุกๆ วงจรต้นแบบที่ทำงานในโหมดกระแสไหลไม่ต่อเนื่อง การกระเพื่อมที่เกิดจากความถี่สูงในกระแสนินพุตเพิ่มสูงขึ้นอีกด้วย ในบางวงจรต้นแบบ เช่น บูลสต์ และ บัค-บูลสต์ อย่างไรก็ตาม บางวงจรต้นแบบ เช่น ซีฟิค หรือ ชุก สามารถควบคุมให้ทำงานได้ในโหมดกระแสไหลไม่ต่อเนื่องพร้อมกับการกระเพื่อมที่ต่ำลงที่ความถี่สูงในกระแสนินพุต ถ้าตัวเหนี่ยวนำนั้นถูกออกแบบให้มีค่าที่เหมาะสม

ตารางที่ 2.4 สรุปเทคนิคการควบคุมกระแสในวงจรแก้ไขตัวประกอบกำลัง

รายละเอียดการควบคุม	แบบกระแสเฉลี่ย	แบบขอบเขต	แบบตามแรงดัน
โหมดควบคุมกระแส	เป็นแบบต่อเนื่อง	ต่อเนื่องและไม่ต่อเนื่อง	เป็นแบบไม่ต่อเนื่อง
การออกแบบขดลวดเหนี่ยวนำอินพุต	ง่าย	ต้องออกแบบให้ได้ค่าที่เหมาะสม	ง่าย
การวิเคราะห์เพื่อหาโมเดลของระบบกำลัง	ง่าย	ยากปานกลาง	ยุ่งยากมาก
วงจรกรองด้านอินพุต	ขนาดเล็ก	ขนาดใหญ่	ขนาดใหญ่
วงจรคุณสมบัติ	จำเป็นต้องใช้	จำเป็นต้องใช้	ไม่จำเป็นต้องใช้
วงจรวัดกระแสอินพุต	จำเป็นต้องใช้	จำเป็นต้องใช้	ไม่จำเป็นต้องใช้
ค่าความผิดเพี้ยนกระแส	ต่ำ	เล็กน้อย	เล็กน้อย

หมายเหตุ เพื่อความเข้าใจโดยง่าย วงจรกำลังที่ใช้อธิบายจึงเลือกเป็นวงจรแปลงผันแบบบัส

เทคนิคการแก้ไขตัวประกอบกำลังไฟฟ้าแบบแอคทีฟเป็นทางเลือกที่เหมาะสมสำหรับการแก้ไขปัญหาที่เกิดจากการแพร่กระจายของกระแสฮาร์มอนิกส์ในระบบจำหน่ายของการไฟฟ้าภายใต้เงื่อนไขของระดับพิกัดกำลังไฟฟ้าที่ไม่สูงมากนัก เทคนิคนี้ต้องอาศัยวงจรแปลงแรงดันไฟฟ้ากระแสตรงเป็นไฟฟ้ากระแสตรงชนิดพื้นฐานเช่น บัสต์ บัค บัค-บัสต์ ฟลายแบ็ก ซิฟิค หรือ ชุก อย่างไรก็ตาม วงจรแปลงแรงดันแบบบัสต์ ซิฟิค และชุก ให้คุณสมบัติที่เด่นคือมีลักษณะเป็นแหล่งจ่ายกระแส ซึ่งลักษณะเช่นนี้ทำให้ง่ายต่อการควบคุมระบบวงจรกำลังให้ทำงานอยู่ในโหมดควบคุมกระแสแบบต่างๆ เช่น โหมดการควบคุมกระแสแบบต่อเนื่อง โหมดการควบคุมกระแสขดลวดเหนี่ยวนำไหลอย่างไม่ต่อเนื่อง

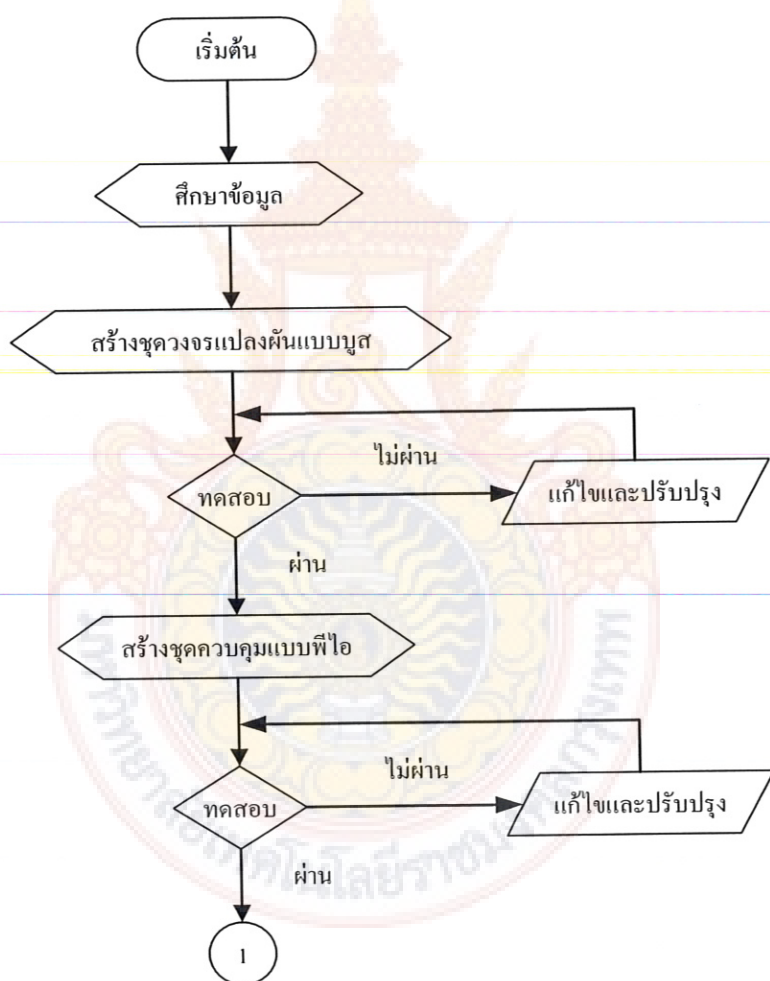
งานวิจัยนี้ได้เลือกใช้เครื่องแปลงผันแบบบัสต์ ที่ควบคุมให้ทำงานอยู่ในโหมดกระแสขดลวดตัวนำไหลอย่างต่อเนื่อง โดยใช้ระบบควบคุมกระแสเป็นแบบฮิสเตอร์ซิสซึ่งเป็นระบบควบคุมที่ง่ายไม่ยุ่งยากซับซ้อนแต่ให้ประสิทธิภาพที่ดีต่อการควบคุม ซึ่งรายละเอียดของเนื้อหาทั้งหมดจะได้กล่าวต่อไป

บทที่ 3

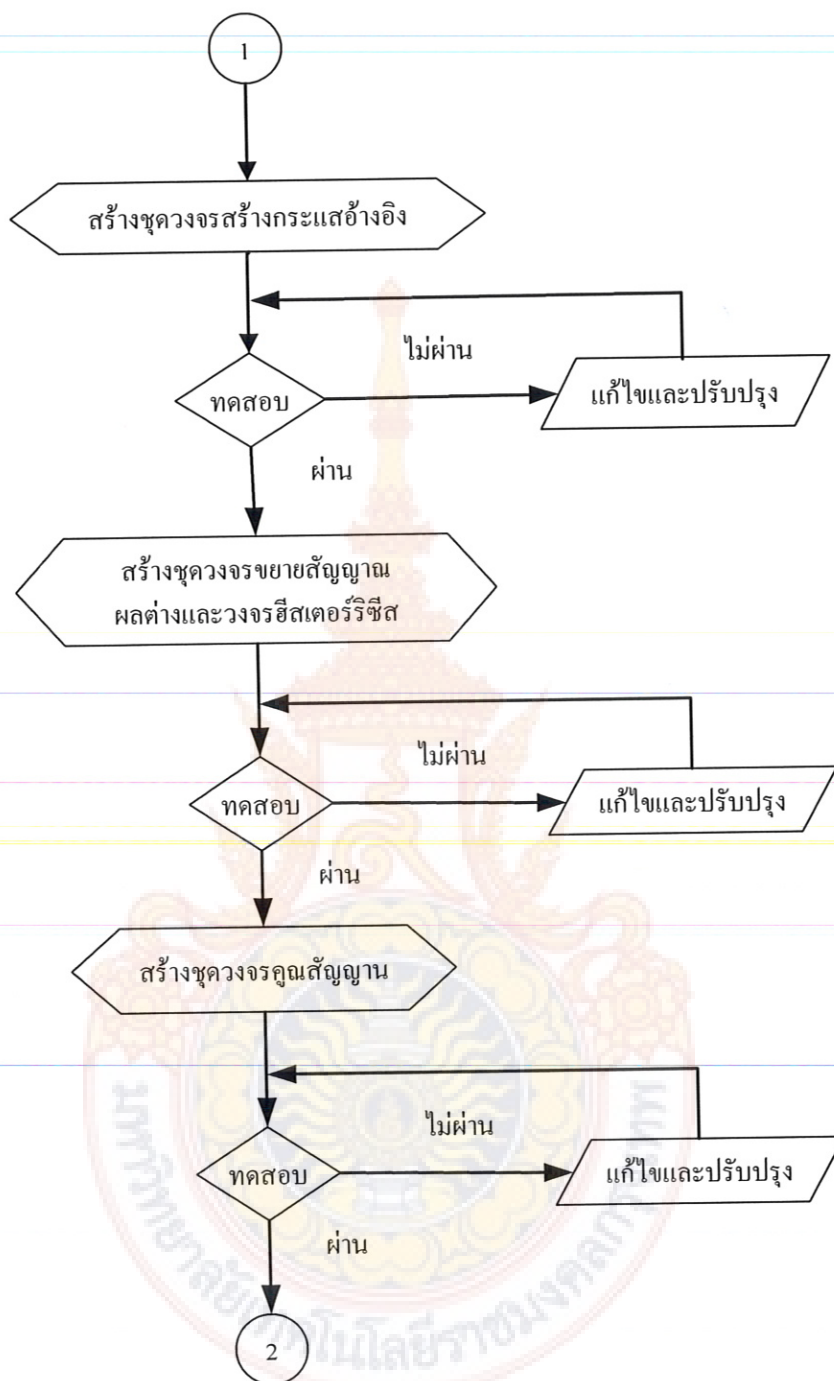
การออกแบบงานวิจัย

ผังการดำเนินงาน

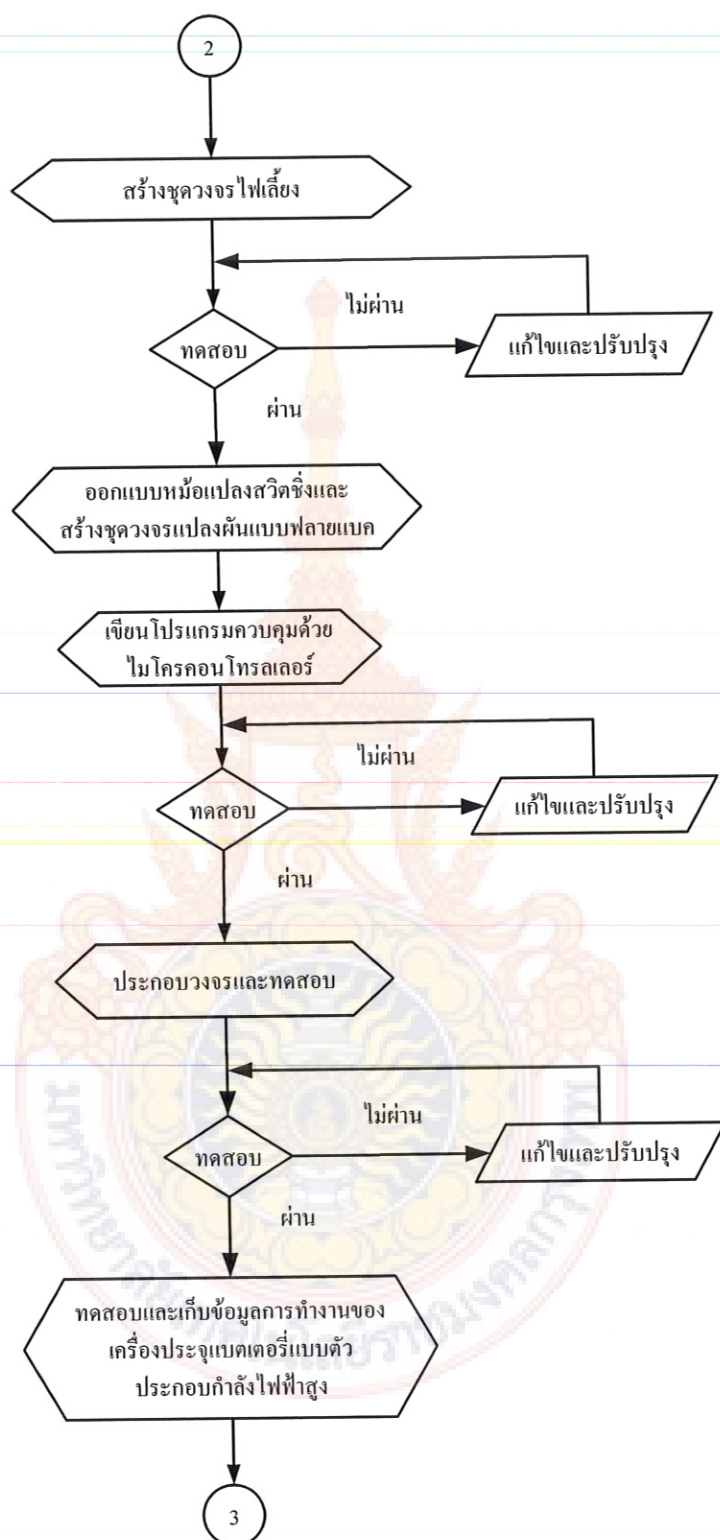
ในการสร้างเครื่องประจุแบตเตอรี่แบบค่าตัวประกอบกำลังสูง สามารถลำดับขั้นตอนในการดำเนินงานดังนี้



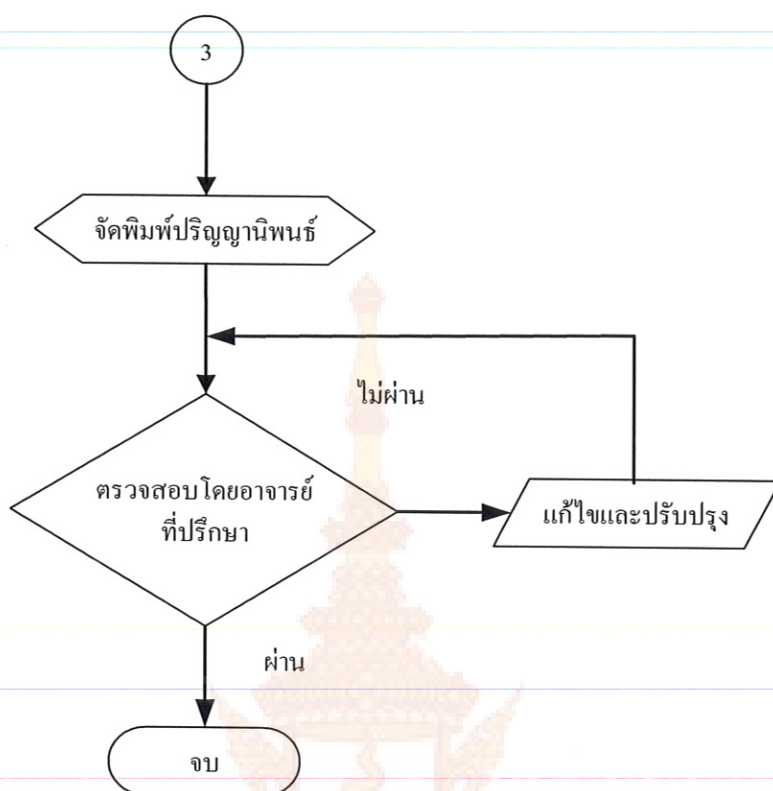
รูปที่ 3.1 ขั้นตอนการดำเนินงาน



รูปที่ 3.1 (ต่อ) ขั้นตอนการดำเนินงาน



รูปที่ 3.1 (ต่อ) ขั้นตอนการดำเนินงาน



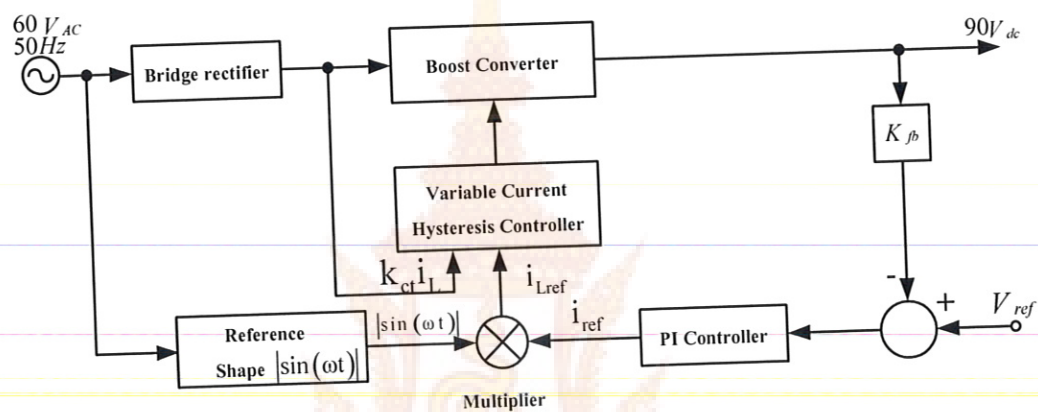
รูปที่ 3.1 (ต่อ) ขั้นตอนการดำเนินงาน

การศึกษาข้อมูล

การศึกษาข้อมูลและรายละเอียดต่างๆ ที่เกี่ยวข้องกับงานวิจัยและแนวทางการสร้างงานวิจัยนี้ สามารถแบ่งการออกแบบและสร้างส่วนที่สำคัญได้เป็น 2 ส่วน ดังต่อไปนี้

- 3.1 ส่วนของวงจรเรียงกระแสเฟสเดียวที่มีกระแสอินพุตใกล้เคียงไซน์
- 3.2 ส่วนของวงจรสวิตชิ่งซึ่งใช้วงจรแปลงผันแบบฟลายแบค

3.1 ส่วนของวงจรเรียงกระแสเฟสเดียวที่มีกระแสอินพุตใกล้เคียงไซน์

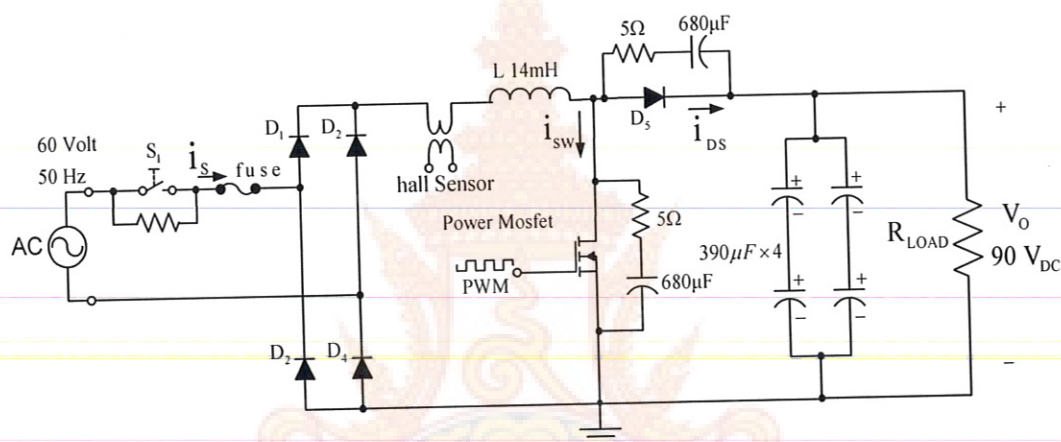


รูปที่ 3.2 บล็อกไดอะแกรมการทำงานของวงจรเรียงกระแสเฟสเดียวที่มีกระแสอินพุตใกล้เคียงไซน์

วงจรคอนเวอร์เตอร์เป็นตัวทำให้เกิดฮาร์มอนิกส์กับระบบไฟฟ้าโดยการจ่ายกระแสแบบที่ไม่เป็นรูปคลื่นไซน์ให้กับโหลดจึงจำเป็นต้องทำการแก้ไขโดยทำให้กระแสอินพุตเป็นรูปคลื่นไซน์ซึ่งการแก้ไขจะทำงานตามบล็อกไดอะแกรมดังที่แสดงไว้ในรูปที่ 3.2 เมื่อวงจรคอนเวอร์เตอร์รับแรงดันไฟฟ้ากระแสสลับ 60 V จะส่งผ่านวงจรกำลังบูสคอนเวอร์เตอร์วงจรนี้จะทำหน้าที่เพิ่มแรงดันและทำให้กระแสไหลต่อเนื่องซึ่งการควบคุมจะทำได้โดยการป้อนสัญญาณกลับมาเปรียบเทียบกับแรงดันเปรียบเทียบเพื่อหาค่าความผิดพลาด จากนั้นค่าความผิดพลาดที่ได้จะส่งเข้าสู่วงจรควบคุมพีไอเพื่อส่งค่ามาคูณกับกระแสอ้างอิง จากนั้นผลที่ได้ทางด้านเอาต์พุตของวงจรสัญญาณจะส่งสัญญาณไปเปรียบเทียบกับกระแสที่ไหลในวงจรเพื่อนำผลที่ได้ส่งต่อไปยังวงจรฮาร์ดแวร์ซึ่งทำการกำหนดสัญญาณควบคุมการทำงานของวงจรกำลังแบบบูสคอนเวอร์เตอร์

การออกแบบวงจรกำลังในส่วนของวงจรแก้ไขตัวประกอบกำลังแบบบูรณาการ

วงจรกำลังในส่วนนี้จะทำหน้าที่จ่ายกำลังงานให้กับภาระทางไฟฟ้าซึ่งโดยปกติทั่วไปวงจรกำลังของเครื่องประจุแบตเตอรี่ จะมีส่วนประกอบที่ประกอบไปด้วยวงจรเรียงกระแสธรรมดาจึงทำให้กระแสที่ไหลเข้าในวงจรไม่เป็นรูปคลื่นไซน์ โดยกระแสจะไหลเฉพาะเวลาที่ตัวเก็บประจุทำการเก็บประจุ ดังนั้นการที่จะทำให้กระแสไหลเข้าให้เป็นรูปคลื่นไซน์จำเป็นที่จะต้องให้กระแสไหลต่อเนื่องจึงเลือกวงจรที่มีลักษณะเป็นวงจรบัสที่มีการทำงานในโหมดกระแสไหลต่อเนื่องมาใช้ โดยวงจรจะประกอบไปด้วย ไดโอด ขดลวดเหนี่ยวนำ ตัวเก็บประจุ ตัวต้านทาน อุปกรณ์ตัดต่อ และอุปกรณ์ตรวจสอบกระแส



รูปที่ 3.3 วงจรกำลังของวงจรแก้ไขตัวประกอบกำลังแบบบูล

จากรูปที่ 3.3 เป็นการออกแบบชุดวงจรกำลังของวงจรแก้ไขตัวประกอบกำลังแบบอนุส
สามารถทำได้โดย การหาค่ากระแสที่ไหลในวงจรเพื่อกำหนดพิกัดของอุปกรณ์ที่ใช้ในวงจรซึ่งหาได้
จาก

เมื่อแรงดันเอาต์พุตของวงจรแก้ไขตัวประกอบกำลังแบบบูส ต้องถูกส่งไปให้กับวงจรฟลายแบคคอนเวอร์เตอร์ ซึ่งมีขนาดกำลังเอาต์พุตเท่ากับ 60 W

$P_{out} = P_{in}$ ในกรณีที่ Power Factor = 1

$$P_{in} = V_{in} I_{in} = V_s I_s = 60W$$

$$I_{s,rms} = \frac{60W}{60V} = 1A$$

กระแสไหลผ่านไดโอดเรกติไฟเออร์ (Diode Rectifier) D_1 D_2 D_3 D_4

$$I_{Di,rms} = \frac{I_{s,rms}}{2} = 0.5A$$

กระแสไหลผ่านสวิตช์

$$I_{sw,pk} = I_{s,rms} \cdot \sqrt{2} = 1 \cdot \sqrt{2} = 1.414A$$

กระแสไหลผ่านไดโอดในวงจรแปลงผันแบบบัส

$$I_{D_s,pk} = I_{s,rms} \cdot \sqrt{2} = 1 \cdot \sqrt{2} = 1.414A$$

กระแสไหลผ่านขดลวดเหนี่ยวนำ

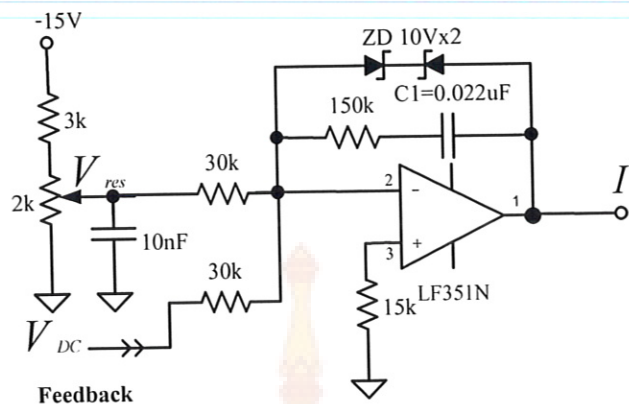
$$I_{L,pk} = I_{s,rms} \cdot \sqrt{2} = 1 \cdot \sqrt{2} = 1.414A$$

พิกัดแรงดันไฟฟ้าเฉลี่ยตกคร่อมสวิตช์และไดโอดในวงจรแปลงผันแบบบัสเป็น 90 V โดยค่าแรงดันและกระแสที่คำนวณได้นั้นสามารถนำไปกำหนดขนาดอุปกรณ์ที่ใช้วงจรแปลงผันแบบบัสโดยการเลือกขนาดของอุปกรณ์เพื่อใช้งานจริงจำเป็นต้องคูณด้วยค่าตัวประกอบของความปลอดภัย 2 เท่า ไดโอดในวงจรนี้จึงใช้เบอร์ MUR1560 ซึ่งเป็นชนิดอัลตราฟาส (Ultrafast) ไดโอดชนิดนี้มีคุณสมบัติที่สามารถทำงานได้ในสภาวะความถี่สูง และทนแรงดันได้ 600V ทนกระแสได้สูงสุด 15A ที่อุณหภูมิ 100°C

การออกแบบหาค่าขดลวดเหนี่ยวนำในวงจร ใช้สมการความถี่สวิตช์ คือ

$$f_s = \frac{\hat{V}_s(V_o - \hat{V}_s)}{L\Delta I_L V_o} \quad (3-0)$$

จากสมการความถี่สวิตช์พบว่ากรณีที่ใช้แถบความกว้างของกระแสคงที่นั้นจะหาความถี่ต่ำได้สองจุดด้วยกันคือที่อินพุต $\hat{V}_s = 0$ V, $V_o = 90$ V และที่แรงดัน $\hat{V}_s = 85$ V, $V_o = 90$ V ซึ่งช่วงความถี่สูงจะปรากฏในช่วงกลางๆ ระหว่างค่าตัดแกนศูนย์และค่าสูงสุดของค่าอินพุตดังนั้นการเลือกค่าของขดลวดเหนี่ยวนำ จะต้องทำให้ความถี่ของการสวิตช์ไม่สูงมากเกินไป ซึ่งสมการความถี่ที่ได้มีผลต่อ



รูปที่ 3.4 วงจรเปรียบเทียบแรงดันและวงจรควบคุมพีไอ

ตามวงจรตามรูปที่ 3.4 อัตราการขยายในการควบคุม K_p และ K_i จะคำนวณได้ดังสมการที่ (4-6) , (4-7)

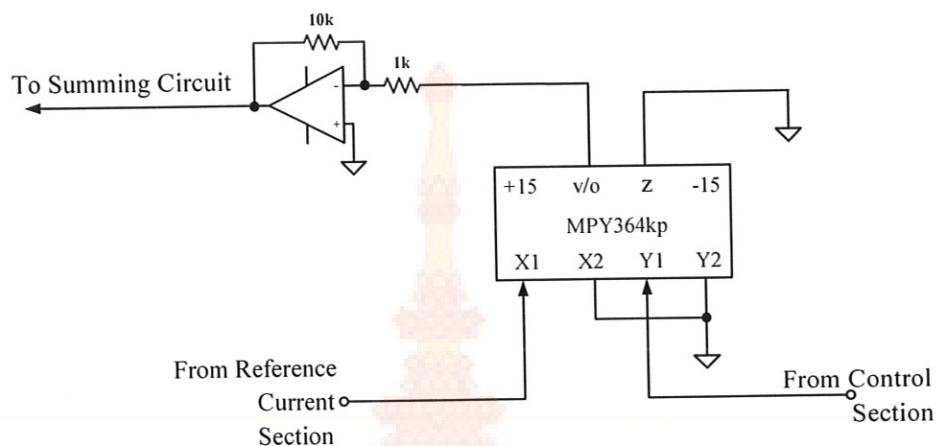
$$K_p = \frac{150k}{30k} = 5 \quad (3-5)$$

และ $K_i = \frac{1}{30k \times 100 \times 10^{-9}} = 333.33 \quad (3-6)$

ค่าของอัตราขยายทั้ง K_p และ K_i นี้จะเป็นค่าที่ใช้ร่วมกันในการทดลองควบคุมวงจรเรียงกระแสแบบบัสที่ใช้ในงานวิจัยนี้

วงจรคูณสัญญาณ

วงจรคูณสัญญาณทำหน้าที่คูณสัญญาณกระแสอ้างอิงและแรงดันไฟฟ้าตรงของวงจรพีไอ เพื่อที่จะนำค่าไปเปรียบเทียบกับกระแสที่ไหลในวงจรกำลังที่ส่งมาจากฮอลล์เซ็นเซอร์



รูปที่ 3.5 วงจรคูณสัญญาณ

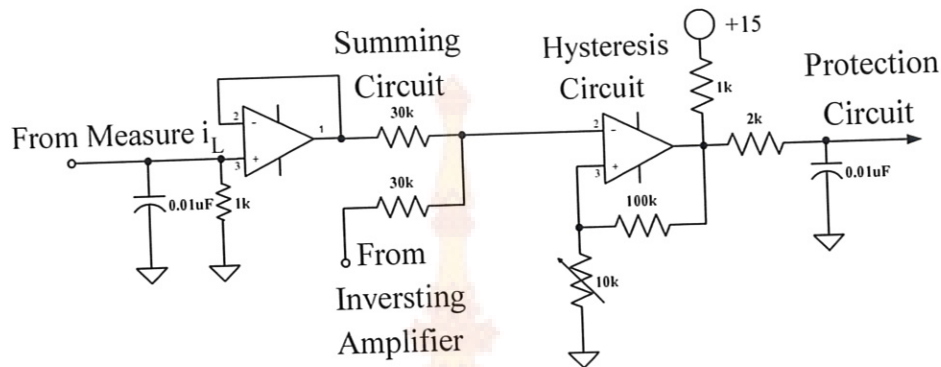
การออกแบบวงจรนี้ใช้ไอซีเบอร์ MPY634KP ทำหน้าที่คูณสัญญาณการต่อสัญญาณเข้าไอซี จะต่อสัญญาณกระแสอ้างอิงที่ขา X_1 ส่วนสัญญาณจากวงจรควบคุมแบบ พีไอ จะต่อที่ขา Y_1 และที่ขา Z_1 จะต่อโดยตรงกับขาเอาต์พุต และขา X_2, Y_2, Z_2 จะต่อลงกราวด์ ซึ่งผลของการคูณจะสามารถหาได้จากสมการที่ (3-7)

$$V_{out} = \frac{(X_1 - X_2)(Y_1 - Y_2)}{10} + Z_2 \quad (3-7)$$

จากสมการผลของการคูณจะเห็นว่าค่าที่ได้ลดลงสิบเท่าตามคุณสมบัติของไอซี จึงจำเป็นต้องขยายสัญญาณให้มีค่าเท่าเดิมพร้อมการกลับเฟสให้เป็นลบ โดยต่อเข้าวงจรที่มีอัตราขยายกลับเฟสอินเวอร์ตติ้งแอมป์โดยขยายขึ้นสิบเท่าจากนั้นสัญญาณที่ได้ก็จะถูกส่งสัญญาณเข้าไปวงจรรวมสัญญาณ

วงจรฮิสเตอร์รีซิส

วงจรฮิสเตอร์รีซิสทำหน้าที่สร้างสัญญาณเพื่อส่งไปขับมอสเฟต โดยจะนำผลบวกของวงจรรวมสัญญาณมาพิจารณาการสร้างสัญญาณที่มีความถี่แตกต่างกันในหนึ่งรูปคลื่นไซน์



รูปที่ 3.6 วงจรฮิสเตอร์รีซิส

การออกแบบเมื่อสัญญาณที่ส่งมาจากวงจรอื่นซึ่งผ่านวงจรที่มีอัตราขยายกลับเฟสอินเวอร์ตติ้งแอมป์โดยขยายขึ้นสิบเท่า จากนั้นนำมารวมกับสัญญาณที่ส่งมาจากฮอสเซนเซอร์ทำให้ได้สัญญาณผลต่างซึ่งส่งเข้าไอซีคอมพิวเตอร์เบอร์ LM311 ซึ่งเป็นไอซีที่ทำหน้าที่สร้างสัญญาณขับมอสเฟต โดยสามารถกำหนดขนาดความถี่ของสัญญาณได้โดยการปรับความต้านทานที่ต่อร่วมกับไอซีดังแสดงไว้ในรูปที่ 3.6 จากนั้นจะส่งสัญญาณเข้าสู่วงจรขับเคลื่อนต่อไป

วงจรขับเคลื่อน

เพื่อความสะดวกและให้วงจรขับเคลื่อนมีขนาดเล็กจึงใช้ ไอซีสำเร็จรูป TLP250 ขนาด 8 ขา ดังแสดงวงจรขับเคลื่อนไว้ในรูปที่ 3.7 โดยจะรับสัญญาณอินพุตผ่านขา 2 และขา 3 เพื่อที่จะทำการไปขับให้แก่อิโอดเปล่งแสงที่ต่ออยู่ระหว่างขา 2 และขา 3 ทางอินพุต โดยจะต่อผ่านความต้านทาน 1 กิโลโอห์ม เพื่อให้มีกระแสไหลผ่านไปยังไดโอดเปล่งแสงไม่สูงเกินไปจนเกิดความเสียหาย ส่วนทางเอาต์พุตกำหนดให้แรงดันมีขนาดเท่ากับ 15 โวลต์โดยรับแรงดันจากแหล่งจ่ายไฟจากชุดวงจรจ่ายไฟเลี้ยง

การกำหนดค่า Δi_L และขนาดของขดลวดเหนี่ยวนำ ถ้าให้ Δi_L ลดลงทำให้ความถี่เพิ่มขึ้นแต่รูปคลื่นกระแสจะใกล้เคียงกระแสอ้างอิง แต่ถ้าค่าเหนี่ยวนำมากขึ้นความถี่จะลดลงและจะทำให้กระแสไม่สามารถเปลี่ยนแปลงให้เป็นไปตามกระแสอ้างอิงได้ ดังนั้นในการเลือกค่าขดลวดเหนี่ยวนำจึงมีค่าสูงเพียงพอที่จะทำให้ค่า Δi_L เล็กพอที่จะทำให้กระแสขดลวดเหนี่ยวนำใกล้เคียงกระแสอ้างอิงจากการทดลองเลือกค่าขดลวดเหนี่ยวนำเป็น 14mH และกำหนด $\Delta i_L = 0.2A$ แทนค่าลงในสมการที่ 3-0 ได้ความสัมพันธ์ของความถี่ต่ำสุดที่ $f_s = 0$ Hz ที่อินพุต $V_s = 60V$ $\hat{V}_s = 60 \times \sqrt{2} = 85V$ แรงดันที่ความถี่สูงสุด $\hat{V}_s = 85/2 = 42.5V$ ความถี่สูงสุดประมาณ 8 kHz

เนื่องจากความถี่สวิตช์ที่ใช้ในวงจรเป็นความถี่สูง จึงจำเป็นต้องใช้อุปกรณ์ในการตัดต่อที่สามารถทำงานในสภาวะนี้ได้ โดยเลือก Power Mosfet เบอร์ IRFP 460 ที่ทนแรงดันได้สูงสุด 500V และทนกระแสได้ 20A เนื่องจากเป็น Power Mosfet ที่มีอยู่แล้ว

การออกแบบค่าตัวเก็บประจุ เนื่องจากตัวเก็บประจุจะต้องสามารถจ่ายไฟให้ภาระได้ในขณะที่ Power Mosfet ทำงาน การเลือกตัวเก็บประจุต้องพิจารณาผลการกระเพื่อมของแรงดันที่ตัวเก็บประจุด้วย โดยใช้สมการ $2\Delta V_C \approx \frac{P_o}{\omega C V_{crms}}$ เมื่อกำหนดให้ $V_{crms} = V_o = 90V$ $P_o = 60W$ และ $\omega = 100\pi$ ดังนั้นจึงได้ค่า C เท่ากับ 1560 μF แทนค่าลงในสมการจะได้แรงดันกระเพื่อมที่ตัวเก็บประจุเป็น 1.36 V

การเลือกสแน็บเบอร์ที่เหมาะสม

ค่าขนาดตัวเก็บประจุที่เหมาะสมดังสมการ

$$C_{s1} \approx \frac{I_o t_f}{2V_d} \quad (3-1)$$

เมื่อเลือกใช้ Power Mosfet เบอร์ IRFP 460 เอาต์พุตของวงจรแปลงผันเป็น 90V กระแสด้านเข้าสูงสุด 1.414A, t_f ของ Power Mosfet เบอร์ IRFP 460 เป็น 110×10^{-9} วินาที แทนค่า

$$C_{s1} \approx \frac{1.414 \times 110 \times 10^{-9}}{2 \times 90} = 864pF$$

ค่าของความต้านทานที่เหมาะสมหาได้จากสมการที่ 3-2

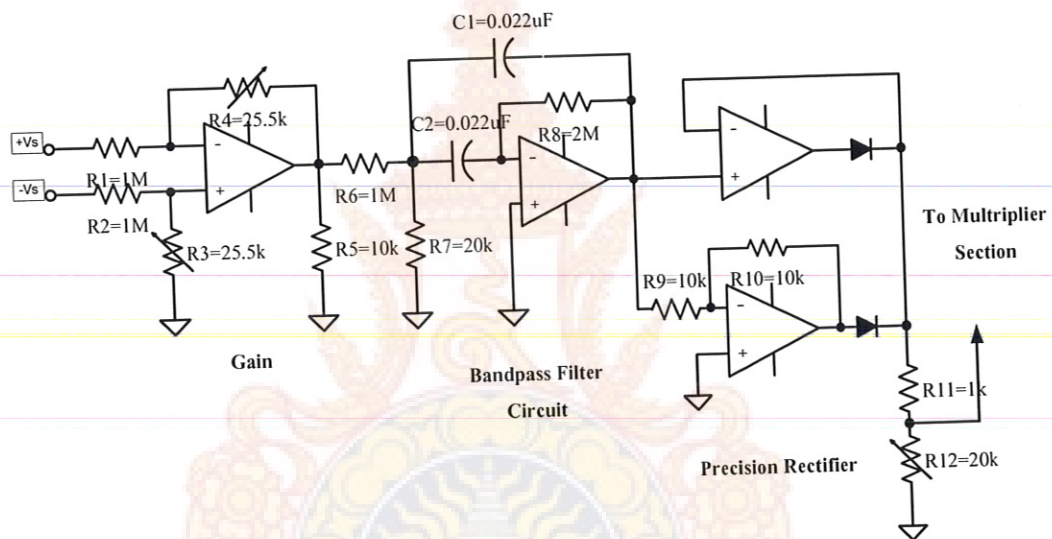
$$R_{s1} \approx \frac{T_{on}}{5C_{s1}} \quad (3-2)$$

เมื่อ t_{on} ของ Power Mosfet เบอร์ IRFP 460 เป็น 18×10^{-9} วินาที และจากค่า $C_{s1} = 864 \text{ pF}$ แทนค่าลงในสมการที่ 3-2 จะได้

$$R_{s1} \approx \frac{18 \times 10^{-9}}{5 \times 864 \times 10^{-12}} = 4.16 \Omega$$

วงจรสร้างสัญญาณกระแสอ้างอิง

วงจรนี้ทำหน้าที่สร้างสัญญาณรูปคลื่นไซน์สับบอร์นที่มีขนาดเท่ากับหนึ่งและมีความถี่เท่ากับ 100 เฮิรตซ์ เพื่อนำผลที่ได้คูณกับค่าแรงดันไฟฟ้ากระแสตรงที่ได้จากการควบคุมแบบพีไอ



รูปที่ 3.3 วงจรสร้างสัญญาณกระแสอ้างอิง

วงจรในภาคนี้ทำหน้าที่สร้างสัญญาณกระแสอ้างอิง ด้วยการวัดขนาดแรงดันไฟฟ้ากระแสสลับด้านเข้าด้วยวงจรขยายสัญญาณแตกต่าง อัตราส่วนลดทอนสัญญาณ 0.0255 เท่าของแรงดันด้านเข้า จะได้ค่าสูงสุดของสัญญาณด้านออกวงจรขยายสัญญาณแตกต่างดังนี้

$$V_o = \frac{R_2}{R_1}(V_2 - V_1) = \frac{25.5k}{1M} \times 311 = 7.933 \text{ V}$$

นำสัญญาณที่ได้ไปผ่านวงจรกรองย่านความถี่ (Band-pass filter circuit) เพื่อป้องกันความถี่สูงเข้ามารบกวนวงจรควบคุม โดยออกแบบให้ความถี่ 50 Hz ผ่าน กำหนด $C_1 = C_2 = 0.022\mu\text{F}$, $R_1 = 1\text{M}\Omega$, $R_2 = 2\text{M}\Omega$ ดังนั้น

$$B = \frac{2}{CR_2} = \frac{2}{0.022 \times 10^{-6} \times 2 \times 10^6} = 45\text{rad/sec} = 7\text{Hz}$$

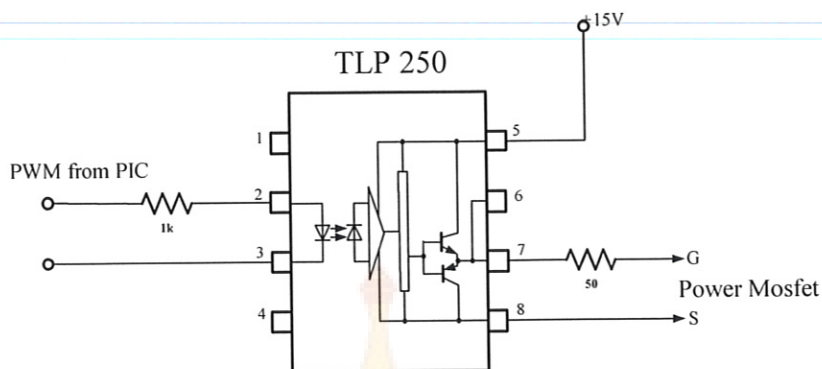
$$Q = \frac{\omega_r}{B} = \frac{50 \times 2 \times \pi}{45} = 6.98 \quad (3-3)$$

$$R_3 = \frac{R_2}{4Q^2} = \frac{2 \times 10^6}{4(6.98)^2} = 10.262\text{k}\Omega \quad (3-4)$$

จากนั้นนำสัญญาณที่ได้ผ่านวงจรสร้างสัญญาณกระแสอ้างอิงชนิดไซน์เต็มคลื่นที่มีขนาดแรงดันที่ขอดคลื่อนเป็นหนึ่งเพื่อทำหน้าที่เป็นสัญญาณกระแสอ้างอิง ส่งต่อสัญญาณไปที่วงจรคูณที่มีเกณฑ์ของการคูณเท่ากับ 0.1 เท่า

วงจรเปรียบเทียบแรงดันและควบคุมพีไอ

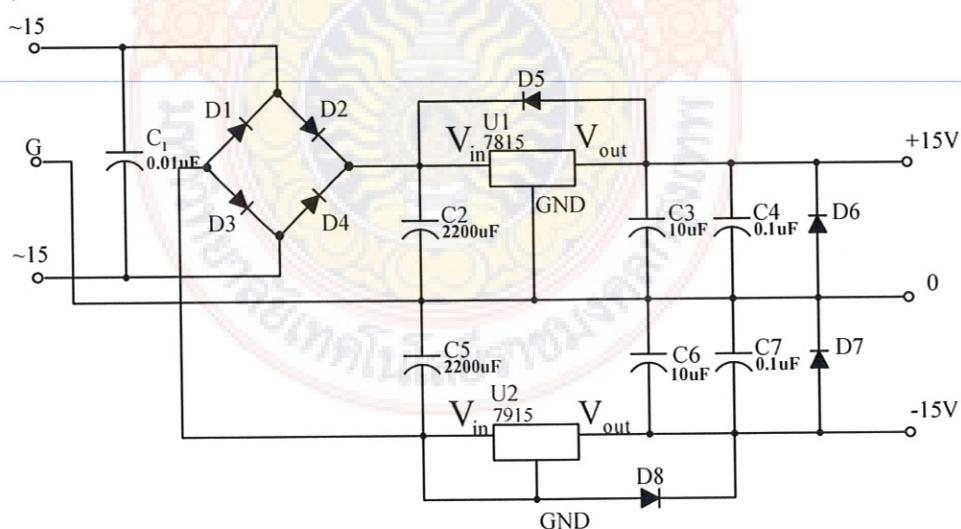
วงจรควบคุมพีไอ เป็นวงจรที่ใช้สำหรับการควบคุมแบบป้อนกลับ ซึ่งประกอบด้วยวงจรควบคุมแบบสัดส่วน (Proportional control, P-control) ร่วมกับ วงจรควบคุมแบบอินทิกรัล (Integral control, I – control) โดยนำสัญญาณไฟตรงที่วัดได้จากทางด้านขาออกของวงจรเรียงกระแสแบบอนุสมการเปรียบเทียบกับแรงดันไฟฟ้าอ้างอิงที่ต้องการควบคุมแรงดันไฟตรงขาออกให้มีค่าคงที่ที่ 90V ซึ่งแรงดันอ้างอิงที่ใช้ในการเปรียบเทียบจะมีค่าเป็น -1.78 V เนื่องจากเมื่อแรงดันไฟตรงขาออกของวงจรการแปลงผันไฟสลับเป็นไฟตรงที่ 90 V จะมีแรงดันออกจากวงจรขยายแบบแยกกราวน์มีค่าเป็น 1.78 V ค่าความแตกต่างของแรงดันทั้งสองจะทำการปรับแต่งด้วยวงจรควบคุมแบบพีไอ เพื่อทำการชดเชยอัตราขยายและควบคุมแรงดันไฟตรงทางด้านขาออกให้มีค่าคงที่อยู่ที่ 90V คงที่ ซึ่งค่าอัตราขยายของวงจรควบคุมพีไอ ได้จากการทดลองปรับเปลี่ยนให้ได้ผลการทดลองที่ดีที่สุด สัญญาณที่ได้จากการปรับแต่งโดยวงจรควบคุมพีไอ จะนำมาสร้างเป็นกระแสอ้างอิง (Current reference, I^*) เพื่อใช้ในระบบการควบคุมต่อไป วงจรเปรียบเทียบแรงดันและวงจรควบคุมพีไอ แสดงได้ดังรูปที่ 3.4



รูปที่ 3.7 วงจรจับเกตด้วย TLP 250

ชุดจ่ายไฟเลี้ยง

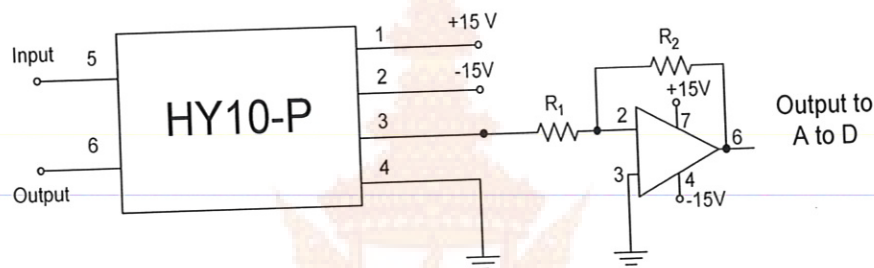
ชุดวงจรจ่ายไฟเลี้ยงในงานวิจัยนี้ใช้แหล่งจ่ายที่มีขนาดแรงดันไฟฟ้า + 15 , 0 , -15 โวลต์ จำนวน 3 ชุด โดยที่ชุดที่ 1 ใช้จ่ายไฟเลี้ยงให้กับวงจรควบคุมซึ่งได้แก่ วงจรควบคุมพีไอ วงจรสร้างสัญญาณอ้างอิง วงจรคูณสัญญาณ วงจรฮิสเตอร์รีซิสและฮอลเซนเซอร์ สำหรับแหล่งจ่ายชุดที่ 2 ใช้สำหรับจ่ายแรงดันให้ชุดป้องกันส่วนที่เป็นชุดหลังของวงจรเรียงกระแสเฟสเดียวที่มีกระแสอินพุตใกล้เคียงไซน์ และแหล่งจ่ายชุดที่ 3 ใช้สำหรับจ่ายแรงดันให้ชุดป้องกันส่วนที่เป็นชุดหลังของวงจรแปลงผันแบบฟลายแบค การแยกแหล่งจ่ายเป็นสามชุดเพื่อป้องกันการรบกวนสัญญาณในระบบควบคุม



รูปที่ 3.8 ชุดวงจรจ่ายไฟเลี้ยง

วงจรวัดกระแส

ในรูปที่ 3.9 จะแสดงวงจรตรวจวัดกระแส จะใช้ Current-Voltage Transducers ยี่ห้อ LEM รุ่น HY10-P ที่มีอัตราการแปลง 10A/4V ซึ่งในรูปที่ 3.9 จะตรวจวัดกระแสก่อนส่งค่าไปที่ DSP หลักการของอุปกรณ์ตรวจวัดกระแสก่อนจะแปลงค่ากระแสให้เป็นแรงดัน โดยแรงดันที่ออกมาจาก HY10-P ที่ขา 3 นั้นจะมีค่าสูงสุดที่ 4V ดังนั้นจึงต้องทำการเพิ่มระดับแรงดันโดยใช้วงจรขยาย ซึ่งจะใช้ออปแอมป์ เพื่อให้มีค่าอยู่ระหว่าง 0-3 V ถ้าอุปกรณ์ตรวจวัดรับกระแสพิสัย 5A จะได้สัญญาณก่อนเข้าพอร์ต Analog มีค่าสูงสุด 3 V เพื่อเป็นการป้องกันกระแสเกินในขณะทำการประจุแบตเตอรี่ ดังรูปที่ 3.9

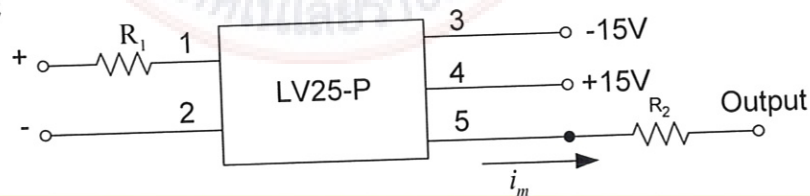


รูปที่ 3.9 อุปกรณ์และวงจรวัดกระแส

วงจรตรวจวัดแรงดัน

ในรูปที่ 3.10 จะเป็นวงจรตรวจวัดแรงดัน จะใช้ Voltage Transducers ยี่ห้อ LEM รุ่น LV25-P สามารถวัดแรงดันได้ตั้งแต่ 0-500 V มีอัตราส่วนการแปลงค่า 500V/50mA ดังนั้นเอาต์พุตจะมีค่าเท่าไรนั้นขึ้นอยู่กับค่าความต้านทาน R_2 เพื่อที่จะนำเอาสัญญาณแรงดันที่ตกคร่อม R_2 ส่งไปวงจรขยายให้ถึง 5 V เพื่อส่งเข้าไปเป็นสัญญาณอินพุตของพอร์ต Analog to Digital (A to D) ของไมโครคอนโทรลเลอร์

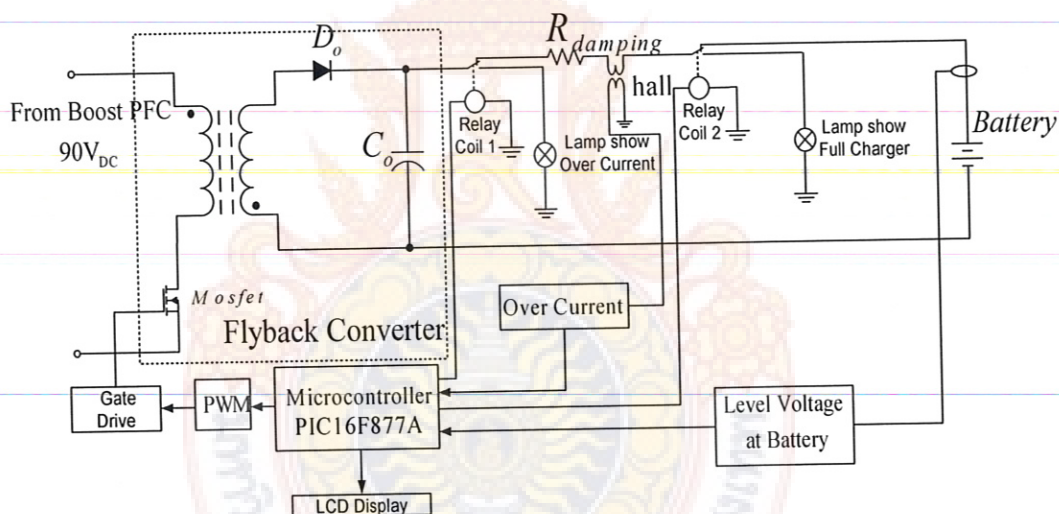
Input 0-500V
DC, AC



รูปที่ 3.10 อุปกรณ์และวงจรวัดแรงดัน

3.2 ส่วนของวงจรสวิตชิงซึ่งใช้วงจรแปลงผันแบบฟลายแบค

หลังจากที่สัญญาณถูกปรับแต่งให้รูปคลื่นทางด้านอินพุตให้มีลักษณะที่ใกล้เคียงรูปคลื่นไซน์จากการผ่านวงจรส่วนหน้าคือ วงจรเรียงกระแสเฟสเดียวที่มีกระแสอินพุตใกล้เคียงไซน์แล้ว ก็ส่งสัญญาณที่ถูกปรับแต่งแล้วมาที่วงจรแปลงผันแบบฟลายแบค เพื่อที่จะให้ได้ระดับแรงดันไฟฟ้า และกระแสไฟฟ้าที่เหมาะสมสำหรับการประจุแบตเตอรี่ สาเหตุที่เลือกใช้วงจรแปลงผันแบบฟลายแบคเนื่องจากใช้อุปกรณ์น้อย และเหมาะสมสำหรับกำลังทางด้านเอาต์พุตที่ไม่เกิน 150 W. ซึ่งในงานวิจัยนี้ได้มีการเลือกใช้ไมโครคอนโทรลเลอร์ PIC เบอร์ 16F877A มาเป็นตัวควบคุมกำหนดสัญญาณพัลส์วิดท์ที่นำไปขับเคลื่อนของมอเตอร์เฟสในวงจรแปลงผันแบบฟลายแบค รวมถึงอาศัยการประมวลผลของไมโครคอนโทรลเลอร์ในการสั่งการทำงานของรีเลย์ตัวที่ 1 ซึ่งเป็นรีเลย์ป้องกันกระแสเกิน (Over Current Relay) และทำการสั่งให้รีเลย์ตัวที่ 2 ตัดเมื่อทำการประจุแบตเตอรี่เต็มพิกัด และแสดงผลสถานะของแบตเตอรี่ผ่านหน้าจอ แอล ซี ดี ดังแสดงในรูปที่ 3.11



รูปที่ 3.11 วงจรแปลงผันฟลายแบคควบคุมการทำงานโดยไมโครคอนโทรลเลอร์

การออกแบบหม้อแปลงสวิตชิง

ออกแบบหม้อแปลงฟลายแบคคอนเวอร์เตอร์ ในการทำงานในโหมดกระแสไม่ต่อเนื่องซึ่งกำหนดให้ทำงานในช่วงแรงดันไฟกระแสตรงอินพุต เท่ากับ $100\text{ V} \pm 10\%$ ที่แรงดันไฟฟ้าเอาต์พุต เท่ากับ 15 V และกระแส 5 A แรงดันตกคร่อมไดโอดขณะนำกระแส เท่ากับ 1.5 V ทำงานที่ความถี่ เท่ากับ 20 kHz เมื่อกำหนดให้ระลอกคลื่นของแรงดันทางด้านออกเท่ากับ 1% ประสิทธิภาพของหม้อแปลง 80%

ขั้นตอนการออกแบบหม้อแปลงฟลายแบคคอนเวอร์เตอร์ [11]

ในกรณีที่หม้อแปลงฟลายแบคคอนเวอร์เตอร์ ทำงานในโหมดกระแสไม่ต่อเนื่องจะกำหนดให้ ค่าบรรทัดฐานของการเปลี่ยนแปลงความหนาแน่นเส้นแรงแม่เหล็ก $\Delta B_n = 1$ โดยที่ $\Delta B = B_m = 0.2T$ และให้ค่าจะให้ค่า $\Delta I_n = 1$

3.2.1 คำนวณค่าอัตราส่วนจำนวนรอบจากสมการที่ (3-8)

$$n = \frac{N_2}{N_1} = \frac{(V_o + V_D)}{V_{in(max)}} \cdot \frac{(1 - D_{max})}{D_{max}} \quad (3-8)$$

โดยที่แรงดันไฟฟ้าทางด้านอินพุตสูงสุด $V_{in(max)}$ สามารถหาได้จาก

$$V_{in(max)} = V_{in} + (V_{in} \times 0.10) = (90 + (90 \times 0.10)) = 99\text{ V}$$

แรงดันไฟฟ้าทางด้านอินพุตต่ำสุด $V_{in(min)}$ สามารถหาได้จาก

$$V_{in(min)} = V_{in} - (V_{in} \times 0.10) = (90 - (90 \times 0.10)) = 81\text{ V}$$

และในการกำหนดค่า D_{max} ไม่ควรเกิน 50% ดังนั้นเพื่อป้องกันการอิ่มตัวของแกนเหล็ก จึงเลือกค่า $D_{max} = 0.45$

ดังนั้นจึงสามารถหาค่าอัตราส่วนจำนวนรอบได้ดังนี้

$$n = \frac{(15 + 1.5)}{99} \cdot \frac{(1 - 0.45)}{0.45}$$

∴ ดังนั้นจะได้อัตราส่วนจำนวนรอบเท่ากับ = 0.2

3.2.2 คำนวณหาค่ากำลังไฟฟ้าทางด้านทุติยภูมิจากสมการที่ (3-9)

$$P_o = (V_o + V_D) I_o \left(\frac{1 - D_{\min}}{D_{\min}} \right) \quad (3-9)$$

เมื่อ $D_{\min}$ สามารถหาได้จากสมการที่ (3-10)

$$D_{\min} = \frac{D_{\max}}{D_{\max} + \left[(1 - D_{\max}) \cdot \frac{V_{in(max)}}{V_{in(min)}} \right]} \quad (3-10)$$

$$D_{\min} = \frac{0.45}{0.45 + \left[(1 - 0.45) \cdot \frac{132}{108} \right]}$$

ดังนั้นจึงได้ $D_{\min} = 0.40$

แทนค่า $D_{\min}$ ที่ได้ลงในสมการที่ (3-9) จะได้

$$P_o = (15 + 1.5) 5 \left(\frac{1 - 0.4}{0.40} \right)$$

∴ ดังนั้นจึงได้ค่ากำลังไฟฟ้าทางด้านทุติยภูมิเท่ากับ 123.75 W

3.2.3 เลือกขนาดของแกนแม่เหล็กจากสมการที่ (3-11)

$$A_p = \frac{P_o \left(\frac{1}{\eta} \sqrt{\frac{4D}{3}} + \sqrt{\frac{4(1-D)}{3}} \right)}{JK_w B_m f_s} \quad (3-11)$$

เพราะวงจรทำงานที่ความถี่สูงจึงมีปรากฏการณ์ทางผิว ดังนั้นในทางปฏิบัติจะเลือกความหนาแน่นของกระแส (J) เท่ากับ $2-5 \text{ A/mm}^2$

ซึ่งในการคำนวณนี้เลือกให้ค่า $J = 3 \text{ A/mm}^2$ หรือ $J = 3 \times 10^6 \text{ A/m}^2$

กำหนดให้ค่า Window Utilization Factor (K_w) = 0.4

ประสิทธิภาพของหม้อแปลง (η) = 80 %

แทนค่าพารามิเตอร์ลงในสมการที่ (3-4n) ได้ดังนี้

$$A_p = \frac{123.75W \left(\frac{1}{0.8} \sqrt{\frac{4(0.45)}{3}} + \sqrt{\frac{4(1-0.45)}{3}} \right)}{(3 \times 10^6 \text{ A/m}^2)(0.4)(0.2T)(20 \times 10^3 \text{ Hz})}$$

∴ ดังนั้นจึงได้ขนาดของแกนแม่เหล็ก (A_p) เท่ากับ $2.137500 \times 10^{-8} \text{ m}^4$ หรือเท่ากับ 21375.00 mm^4

เลือกใช้แกนแม่เหล็กเบอร์ E42/21/15 ซึ่งมีรายละเอียดของค่าพารามิเตอร์ตามตารางที่ 3.1

ตารางที่ 3.1 แสดงค่าพารามิเตอร์ของแกนแม่เหล็กเบอร์ E65/32/13 [11]

l_e (mm)	l_m (mm)	$A_c \times 100$ (mm ²)	$A_w \times 100$ (mm ²)	$A_p \times 10^4$ (mm ⁴)	μ_e	A_l
93	97.2	1.82	2.56	4.659	2030	4778

∴ ดังนั้นจากตารางที่ 3.1 เมื่อพิจารณาพื้นที่ A_p ที่คำนวณได้คือ $105,120.00 \text{ mm}^4$ จึงเลือกใช้แกนแม่เหล็กเบอร์ E65/32/13 มีพื้นที่ A_p เท่ากับ $142,840.00 \text{ mm}^4$ ซึ่งเพียงพอกับค่าที่คำนวณได้

3.2.4 คำนวณจำนวนรอบด้านปฐมภูมิได้จากสมการที่ (3-12)

$$N_1 = \frac{D_{\min} V_{in(max)}}{A_c B_m f_s} \quad (3-12)$$

$$= \frac{(0.40)(99V)}{(182mm^2)(0.2)(20 \times 10^3 Hz)}$$

∴ ดังนั้นจึงได้จำนวนรอบด้านปฐมภูมิเท่ากับ 54 รอบ

∴ และสามารถหาจำนวนรอบด้านทุติยภูมิได้จาก $N_2 = n \cdot N_1$ จึงได้ $N_2 = (0.2)(54) = 11$ รอบ

3.2.5 เลือกขนาดของลวดตัวนำด้านปฐมภูมิและด้านทุติยภูมิได้จากสมการที่ (3-13) และสมการที่ (3-14)

เมื่อพื้นที่หน้าตัดของลวดทองแดงด้านปฐมภูมิสามารถหาได้จาก

$$a_1 = \frac{I_1}{J} \quad (3-13)$$

และพื้นที่หน้าตัดของลวดทองแดงด้านทุติยภูมิสามารถหาได้จาก

$$a_2 = \frac{I_2}{J} \quad (3-14)$$

ดังนั้นจึงต้องทำการหาค่ากระแสทางด้านปฐมภูมิก่อนดังนี้ [11]

ทำการหาค่า ΔI_1 จาก $\Delta I_1 = I_{1+} \cdot \Delta I_n$ (3-15)

เมื่อค่า I_{1+} สามารถหาได้จากสมการที่ (3-16)

$$I_{1+} = \frac{\left(\frac{2 \cdot n \cdot I_o}{D_{\min}} \right)}{(2 - \Delta I_n)} \quad (3-16)$$

และ

$$I_{1+} = \frac{\left(\frac{(2)(0.2)(5)}{(0.40)} \right)}{(2 - 1)}$$

ดังนั้นจึงได้ค่า I_{1+} เท่ากับ 5 A

แทนค่า I_{1+} ลงในสมการที่ (3-16) จึงได้ $\Delta I_1 = 5 \times 1 = 5$ A

และสามารถหาค่ากระแสทางด้านปฐมภูมิ(I_1) ได้จากสมการที่ (3-17)

$$I_1 = \sqrt{\left(\frac{D_{\max}}{3}\right) \cdot \left[\Delta I_1^2 + \frac{3}{4} \left[\left(\frac{2I_{1(\text{avg})}}{D_{\max}} \right)^2 - \Delta I_1^2 \right] \right]} \quad (3-17)$$

เมื่อ $I_{1(\text{avg})} = n \cdot I_o$

$$= \sqrt{\left(\frac{0.45}{3}\right) \cdot \left[5^2 + \frac{3}{4} \left[\left(\frac{2(1)}{0.45} \right)^2 - 5^2 \right] \right]}$$

∴ ดังนั้นจึงได้ค่ากระแสทางด้านปฐมภูมิ (I_1) เท่ากับ 1.78 A

หาพื้นที่หน้าตัดของลวดทองแดงด้านปฐมภูมิ โดยแทนค่า I_1 ลงในสมการที่ (3-13)

จึงได้
$$a_1 = \frac{1.78 A}{3 A / \text{mm}^2} = 0.5933 \text{ mm}^2$$

เมื่อเลือกใช้ลวดทองแดงเบอร์ SWG 24 ซึ่งเป็นเบอร์ที่มีอยู่แล้วซึ่งมีพื้นที่หน้าตัดเท่ากับ 0.24520 mm^2 และเพื่อป้องกันปรากฏการณ์ทางผิวเมื่อมีกระแสไฟฟ้าไหลผ่านลวดทองแดง ในทางปฏิบัติจึงทำการตีเกลียวลวดทองแดง ดังนี้

หาจำนวนเส้นตีเกลียวจากอัตราส่วนของพื้นที่หน้าตัดของลวดทองแดงที่คำนวณได้กับพื้นที่หน้าตัดของลวดทองแดงเบอร์ SWG 24

∴ จึงได้จำนวนเส้นตีเกลียวคลวดด้านปฐมภูมิ เท่ากับ
$$\frac{0.59330 \text{ mm}^2}{0.24520 \text{ mm}^2} = 3 \text{ เส้น}$$

หาพื้นที่หน้าตัดของลวดทองแดงด้านทุติยภูมิได้จากสมการที่ (3-14)

จึงได้
$$a_2 = \frac{5 A}{3 A / \text{mm}^2} = 1.6667 \text{ mm}^2$$

เมื่อเลือกใช้ลวดทองแดงเบอร์ SWG 24 ซึ่งเป็นเบอร์ที่มีอยู่แล้วซึ่งมีพื้นที่หน้าตัดเท่ากับ 0.24520 mm^2 และเพื่อป้องกันปรากฏการณ์ทางผิวเมื่อมีกระแสไฟฟ้าไหลผ่านลวดทองแดง ในทางปฏิบัติจึงทำการตีเกลียวลวดทองแดง ดังนี้

หาจำนวนเส้นตีเกลียวจากอัตราส่วนของพื้นที่หน้าตัดของลวดทองแดงที่คำนวณได้กับพื้นที่หน้าตัดของลวดทองแดงเบอร์ SWG 24

$$\therefore \text{จึงได้จำนวนเส้นตีกรวยตลอดด้านทุติยภูมิเท่ากับ } \frac{1.67000\text{mm}^2}{0.24520\text{mm}^2} = 7 \text{ เส้น}$$

3.2.5 ตรวจสอบความถูกต้องของการคำนวณโดยที่ค่าที่ได้จะต้องเป็นไปตามสมการที่ (3-18)

$$A_w K_w \geq \sum_{i=1}^m a_i N_i \quad (3-18)$$

$$\text{แทนค่าพารามิเตอร์ได้ } A_w K_w = (256\text{mm}^2)(0.4) = 102.4\text{mm}^2$$

$$\text{และ } \sum_{i=1}^m a_i N_i = (a_1 N_1 + a_2 N_2) = (0.5933\text{mm}^2 \times 54) + (1.6667\text{mm}^2 \times 11) = 50.37\text{mm}^2$$

$$\therefore \text{ดังนั้นจึงได้ } 102.2\text{mm}^2 > 50.37\text{mm}^2 \text{ ถูกต้องตามเงื่อนไขของสมการที่ (3-18)}$$

3.2.6 คำนวณระยะช่องว่างอากาศจากสมการที่ (3-19)

$$l_g = \frac{\mu_0 \cdot N_1^2 \cdot A_c}{L_p} \quad (3-19)$$

ทำการหาค่าความเหนี่ยวนำ (L_p) ของขดลวดด้านปฐมภูมิได้จากสมการที่ (3-20)

$$\begin{aligned} L_p &= \frac{V_{in(\min)} D_{\max}}{\Delta I_s f_s} \\ &= \frac{(81V)(0.45)}{(5A)(20 \times 10^3 \text{ Hz})} \end{aligned} \quad (3-20)$$

$$\therefore \text{จึงได้ค่าความเหนี่ยวนำ } (L_p) \text{ ของขดลวดด้านปฐมภูมิเท่ากับ } 364.5 \mu H$$

ดังนั้นจึงสามารถหาช่องว่างอากาศได้ดังนี้

$$l_g = \frac{(4\pi \times 10^{-7} \text{ H/m}) \cdot (54)^2 \cdot (182\text{mm}^2)}{364.5 \times 10^{-6} \text{ H}}$$

$$\therefore \text{ดังนั้นจึงได้ระยะช่องว่างอากาศเท่ากับ } 1.8 \text{ mm หรือประมาณ } 2 \text{ mm}$$

3.2.7 เลือกเพาเวอร์มอสเฟตสำหรับวงจรฟลายแบคคอนเวอร์เตอร์ จากสมการที่ (3-21)[3]

$$\begin{aligned} V_{DS} &= V_{in(\max)} + \frac{N_p}{N_s} (V_o + V_D) \\ &= 99 + \frac{54}{11} (15 + 1.5) \\ &= 180 \text{ V} \end{aligned} \quad (3-21)$$

การเลือกเพาเวอร์มอสเฟต แรงดันตกคร่อมเพาเวอร์มอสเฟตสูงสุดจะต้องมีค่ามากกว่าค่าแรงดันที่คำนวณได้มากกว่ากระแสสูงสุดทางด้านปฐมภูมิ จึงใช้มอสเฟตเบอร์ IRFP 460 ซึ่งทนกระแสได้ 20 A 500 V เนื่องจากเป็นเพาเวอร์มอสเฟตที่มีขายอยู่ในท้องตลาด

ออกแบบวงจรเรียงกระแสและกรองแรงดันเอาต์พุต

ตัวเก็บประจุที่เอาต์พุต จะทำหน้าที่จ่ายกระแสให้กับ โหลดในช่วงที่เพาเวอร์มอสเฟตนำกระแสซึ่งจะไม่มีกระแสไหลจากขดทุติยภูมิ เป็นการลดแรงดันกระแสเฟรมที่เอาต์พุต ดังนั้นตัวเก็บประจุจึงต้องสามารถจ่ายกระแสได้เท่ากับกระแสที่ต้องการในช่วงเวลาการนำกระแสของเพาเวอร์มอสเฟต เพื่อคงค่าแรงดันเอาต์พุต ไม่ให้เกิดการกระเพื่อมมากเกินไป ค่าของตัวเก็บประจุด้านเอาต์พุตสามารถกำหนดได้ดังนี้

คำนวณค่าตัวเก็บประจุเอาต์พุต แรงดันกระแสเฟรม 200 มิลลิโวลต์ จากสมการที่ (3-22)

$$C_o = \frac{I_o \times t_{on(max)}}{V_{ripple}} \quad (3-22)$$

$$= \frac{5 \times (18 \times 10^{-6})}{(200 \times 10^{-3})}$$

$$= 450 \mu F$$

แต่เพื่อให้แรงดันทางด้านเอาต์พุตเรียบมากยิ่งขึ้น จึงเลือกใช้ตัวเก็บประจุที่มีความจุเท่ากับ $1170 \mu F$

การเลือกไดโอดสำหรับเรียงกระแสด้านเอาต์พุต

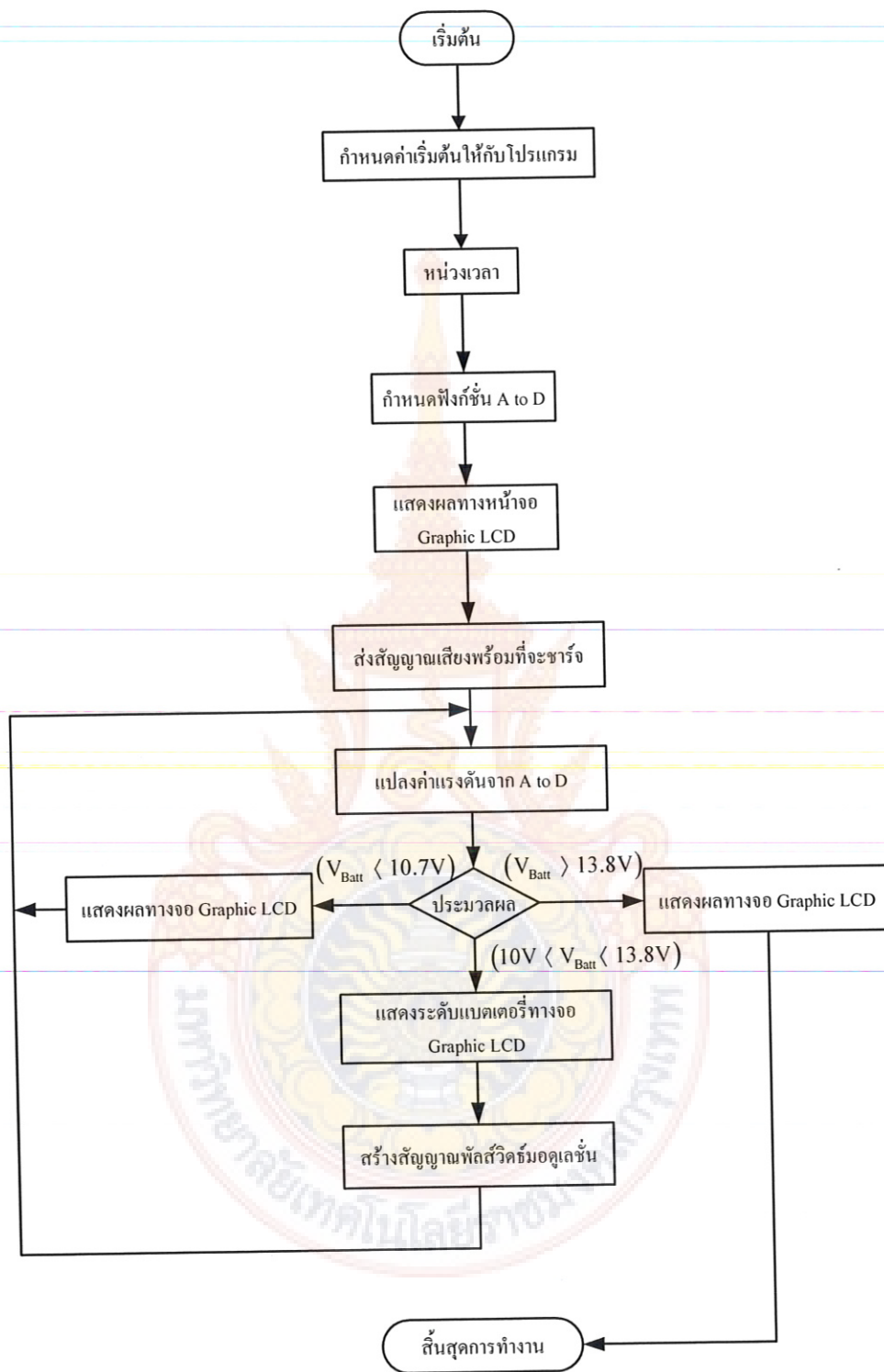
กระแสสูงสุดที่ไหลผ่านไดโอดขณะนำกระแสหาได้จากสมการที่ (3-23)

$$\begin{aligned} I_{FM} &= \frac{2I_o}{1 - D_{\max}} \\ &= \frac{2 \times 5}{1 - 0.45} \\ &= 18.18 \text{ A} \end{aligned} \quad (3-23)$$

ไดโอดสำหรับเรียงกระแสด้านเอาต์พุตจะต้องสามารถทนกระแสสูงสุด ขณะนำกระแสได้ในที่นี้ใช้ไดโอด เบอร์ RHRG30120 ซึ่งสามารถทนกระแสได้ 30 A เนื่องจากสามารถทนกระแสได้มากกว่า 18.18 A ตัวถังแบบ TO-220 ซึ่งสามารถติดแผ่นระบายความร้อนเพื่อช่วยระบายความร้อนได้

ออกแบบวงจรควบคุม

การออกแบบวงจรควบคุมการทำงานของวงจรฟลายแบคคอนเวอร์เตอร์ เนื่องจากแรงดันทางด้านอินพุตของวงจรฟลายแบค เป็นสัญญาณเอาต์พุตของวงจรแก้ไขตัวประกอบกำลังแบบบูส ซึ่งมีตัวควบคุมแบบพีไอที่ทำหน้าที่รักษาระดับแรงดันทางด้านเอาต์พุตของวงจรแก้ไขตัวประกอบกำลังแบบบูสให้คงที่ ดังนั้นในการกำหนดแรงดันทางด้านเอาต์พุตของวงจรฟลายแบคให้มีแรงดันที่เหมาะสมกับการประจุแบตเตอรี่ จึงสามารถกำหนดได้ด้วยการคำนวณอัตราส่วนของหม้อแปลงสวิตช์ ส่วนสัญญาณพัลส์วิดธ์มอดูเลชัน (Pulse Width Modulation) ส่งไปให้กับวงจรขับเคลื่อนมอเตอร์เฟสในวงจรฟลายแบค ใช้ไมโครคอนโทรลเลอร์ PIC เบอร์ 16F877A สร้าง รวมถึงการรับค่าจากตัวตรวจจับระดับแรงดันที่ขั้วของแบตเตอรี่ เข้ามาทางโมดูลแปลงสัญญาณแอนะล็อกเป็นดิจิทัล เพื่อนำค่าแรงดันที่รับเข้ามาไปประมวลผล และแสดงผลระดับของแรงดันที่แบตเตอรี่ผ่านหน้าจอ LCD รวมถึงควบคุมการทำงานของเครื่องประจุแบตเตอรี่แบบตัวประกอบกำลังสูง ซึ่งโปรแกรมการควบคุมการทำงานของฟลายแบคคอนเวอร์เตอร์ สามารถเขียนเป็นลำดับการทำงานได้ดังรูปที่ 3.12



รูปที่3.12 ลำดับขั้นตอนการทำงานของโปรแกรมควบคุมการทำงานของฟลายแบคคอนเวอร์เตอร์

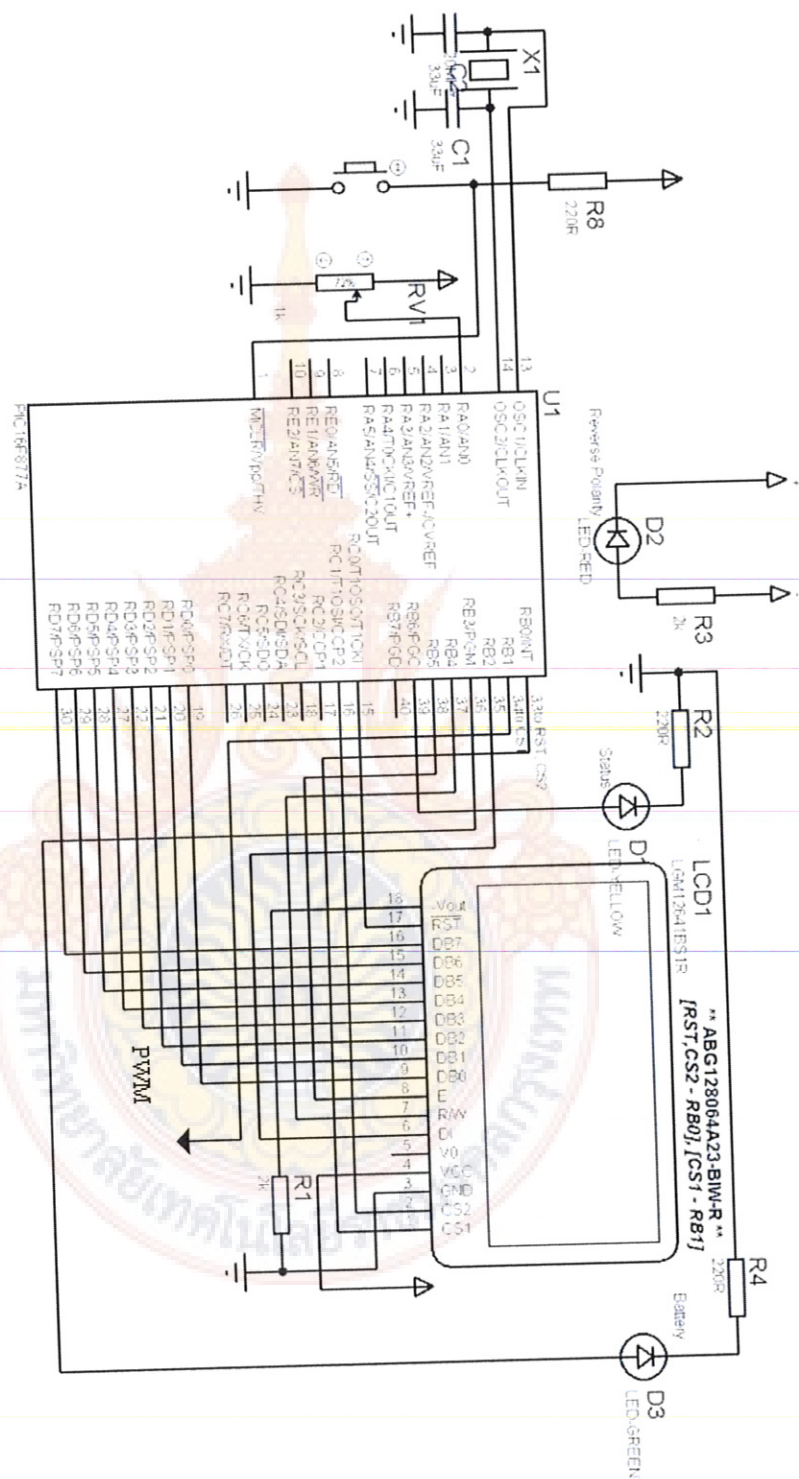
การหน่วงเวลา

เพื่อให้โมดูลต่างๆ ของไมโครคอนโทรลเลอร์ พร้อมทั้งจะทำงานและลดการกระชากของกระแสขณะเปิดเครื่อง โดยทำการหน่วงเวลาเชื่อมต่อการทำงานระหว่างวงจรแก้ไขตัวประกอบกำลังแบบบูสกับวงจรฟลายแบคคอนเวอร์เตอร์ ให้วงจรฟลายแบคคอนเวอร์เตอร์ทำงานภายหลังจากที่วงจรแก้ไขตัวประกอบกำลังแบบบูสทำงานประมาณ 5 วินาที เพราะว่าในขณะที่เริ่มจ่ายแรงดันให้กับวงจรแก้ไขตัวประกอบกำลังแบบบูสจะเกิดการกระชากของกระแสเนื่องจากการประจุแรงดันของตัวเก็บประจุ โดยจะมีอยู่ 2 ส่วนคือ กระแสกระชากจากชุดวงจรแก้ไขตัวประกอบกำลังแบบบูส และจากวงจรฟลายแบคคอนเวอร์เตอร์ จึงทำการหน่วงเวลาเพื่อลดกระแสกระชากดังกล่าว

การแปลงสัญญาณแอนะล็อกเป็นดิจิตอล

การแปลงสัญญาณแอนะล็อกเป็นดิจิตอลจะเลือกใช้ขาพอร์ต A0 ทำงานเป็นอินพุตแอนะล็อก โดยรับแรงดันป้อนกลับมาจากขั้วแบตเตอรี่ ที่ผ่านตัวตรวจจับแรงดันและขยายให้มีค่าแรงดันเท่ากับ 0-5 V เพื่อส่งไปให้กับไมโครคอนโทรลเลอร์ PIC เบอร์ 16F877A ทำการประมวลผลควบคุมการทำงานของเครื่องประจุแบตเตอรี่แบบตัวประกอบกำลังสูง และแสดงผลผ่านหน้าจอ LCD ซึ่งการต่อขาสัญญาณแสดงดังรูปที่ 3.13





รูปที่ 3.13 การต่อจากสัญญาณของ PIC16F877A

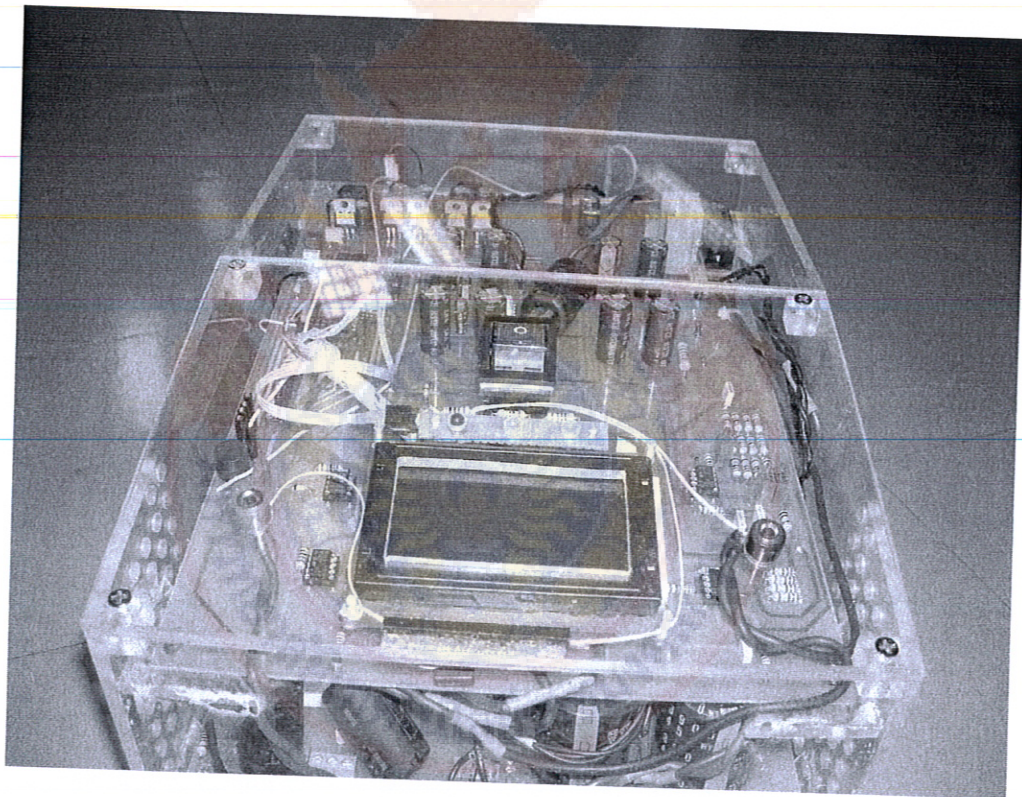
บทที่ 4

ผลการวิจัยและข้อวิจารณ์

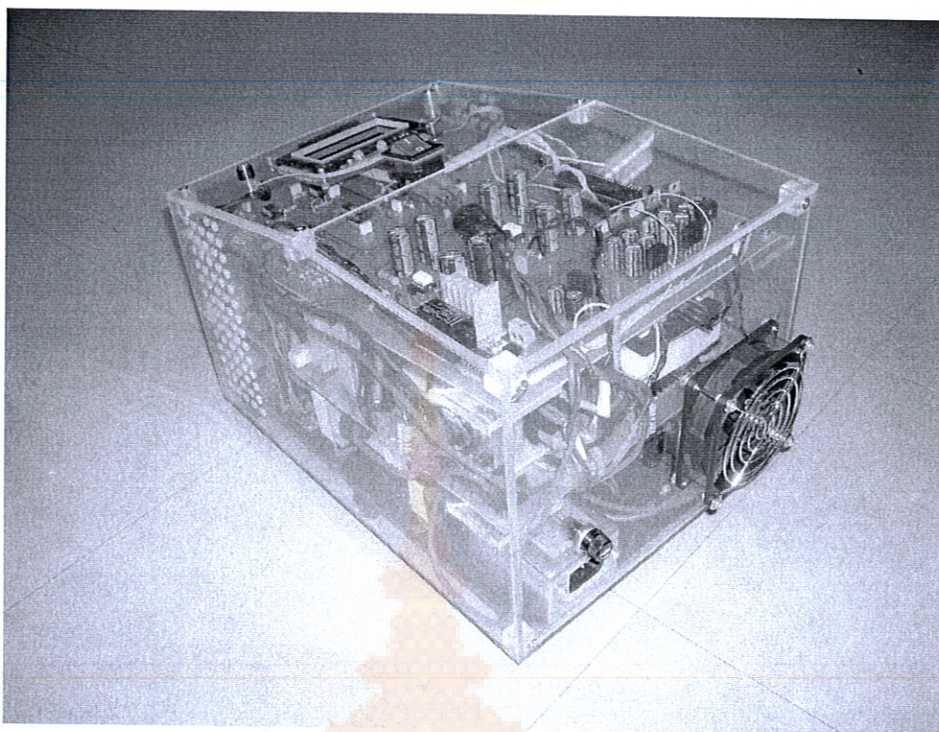
จากขั้นตอนการดำเนินงานในบทที่ผ่านมาได้อธิบายถึงวิธีการดำเนินงาน ในส่วนต่างๆ ทั้งหมดซึ่งผลที่ได้จากการดำเนินงานประกอบไปด้วยส่วนใหญ่นๆ 2 ส่วนคือ

1. ส่วนของวงจรกำลัง
2. ส่วนของวงจรควบคุม

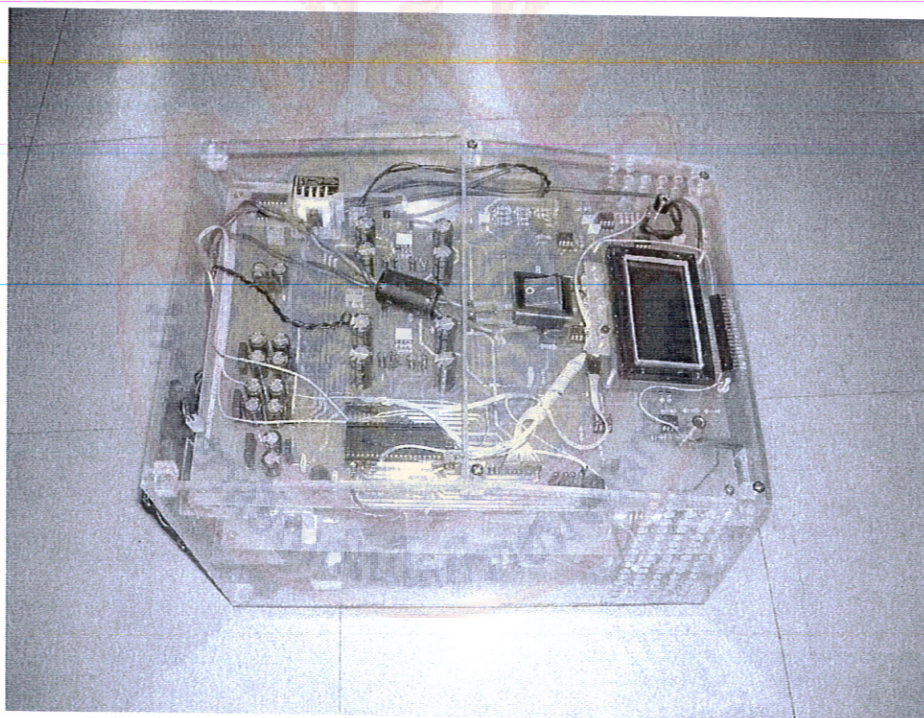
จากผลการดำเนินงานได้สร้างเครื่องประจุแบตเตอรี่แบบตัวประกอบกำลังสูงผลที่ได้จากงานวิจัยนี้มี วงจรกำลัง และวงจรควบคุม ซึ่งจะขอนำเสนอผลของงานวิจัยและการทดสอบในส่วนต่างๆ ของงานวิจัยที่เสร็จสมบูรณ์ดังต่อไปนี้



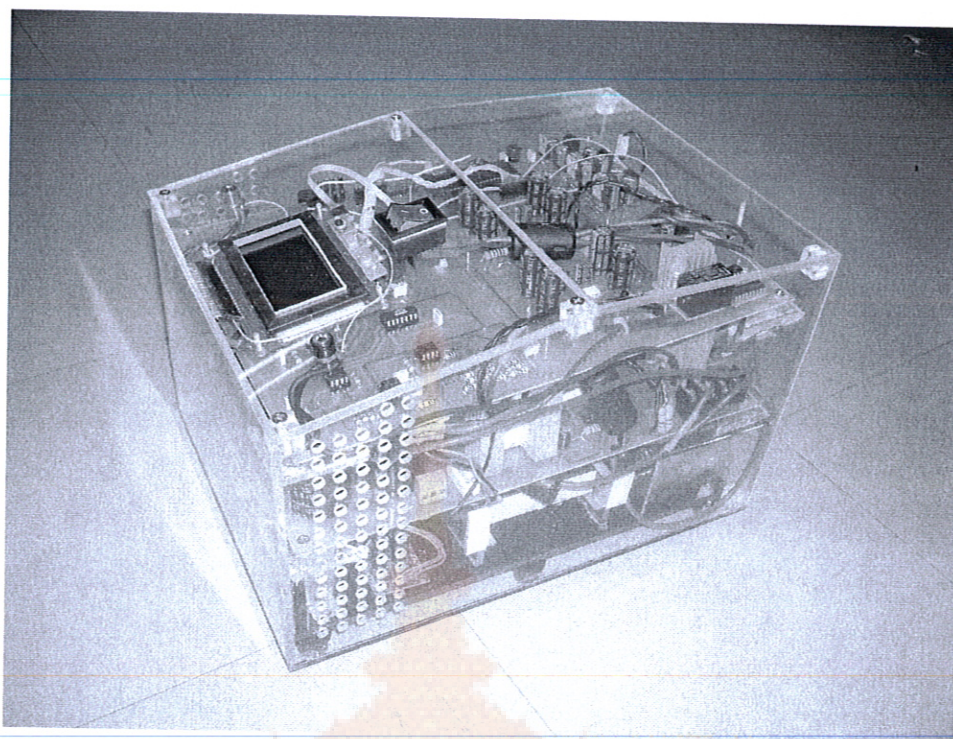
รูปที่ 4.0 รูปด้านหน้าของเครื่องประจุแบตเตอรี่แบบตัวประกอบกำลังสูง



รูปที่4.1 รูปด้านหลังของเครื่องประจุแบตเตอรี่แบบตัวประกอบกำลังสูง



รูปที่4.2 รูปด้านบนของเครื่องประจุแบตเตอรี่แบบตัวประกอบกำลังสูง



รูปที่ 4.3 รูปด้านขวาของเครื่องประจุแบตเตอรี่แบบตัวประกอบกำลังสูง

การทดสอบเครื่องประจุแบตเตอรี่แบบตัวประกอบกำลังสูงสำหรับแบตเตอรี่กรดตะกั่ว
เครื่องมือที่ใช้ในการทดสอบ

- | | |
|--|-----------|
| 1. ออสซิลโลสโคป (Scope Meter) ยี่ห้อ Tektronix รุ่น TDS 1001B | 1 เครื่อง |
| 2. ดิจิตอลมัลติมิเตอร์ (Digital Mutimeter) ยี่ห้อ Richtmass รุ่น RA-12 | 3 ตัว |
| 3. เครื่อง Power Analyzer รุ่น WT500 | 1 เครื่อง |
| 4. เครื่องคอมพิวเตอร์ | 1 เครื่อง |
| 5. ออสซิลโลสโคปยี่ห้อ Agilent Technologies รุ่น DS05014A | 1 เครื่อง |

ได้ทำการทดสอบดังนี้

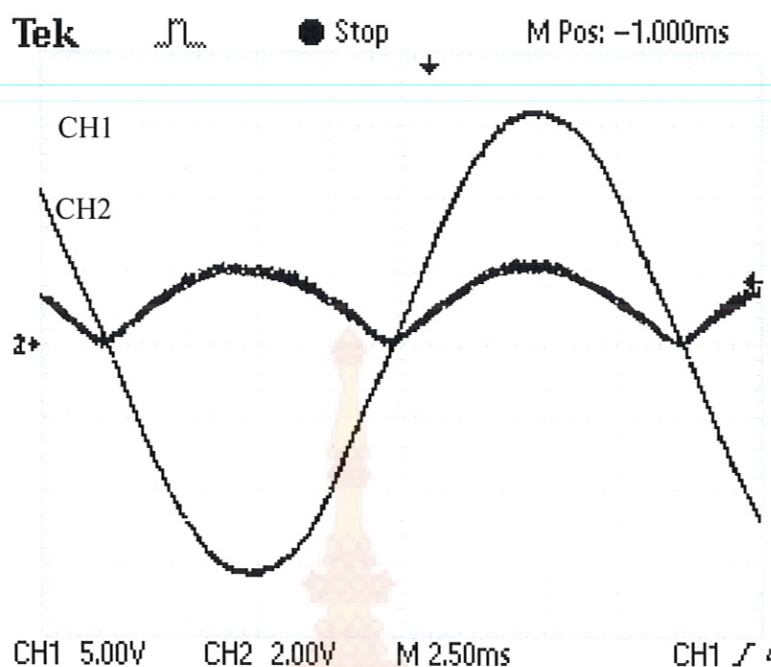
1. ทดสอบสัญญาณต่างๆของเครื่องประจุแบตเตอรี่โดยแบ่งออกเป็น 2 ส่วนดังนี้
 - 1.1. วงจรแก้ไขตัวประกอบกำลังที่ใช้การควบคุมด้วยวงจรแปลงผันแบบบัส
 - 1.1.1. ทดสอบสัญญาณกระแสอ้างอิง
 - 1.1.2. ทดสอบสัญญาณกระแสโหลดหนึ่งขั้วนำ
 - 1.1.3. ทดสอบสัญญาณแรงดันเอาต์พุต
 - 1.2. วงจรแปลงผันไฟฟ้ากระแสตรงเป็นไฟฟ้ากระแสตรงแบบฟลายแบค
 - 1.2.1. ทดสอบสัญญาณแรงดันตกคร่อมเพาเวอร์มอสเฟตและสัญญาณ PWM ที่ใช้ขับขาเกตของเพาเวอร์มอสเฟต
 - 1.2.2. ทดสอบสัญญาณกระแสและแรงดันทางด้านเอาต์พุตขณะเริ่มทำการประจุแบตเตอรี่และระหว่างที่ทำการประจุแบตเตอรี่
2. ทดสอบสัญญาณกระแสและแรงดันอินพุตของเครื่องประจุแบตเตอรี่แบบตัวประกอบกำลังสูงเทียบกับเครื่องประจุแบตเตอรี่ที่ใช้วงจรเรียงกระแสที่ไม่มีการควบคุม ชี้อ Super10 รุ่น SI2A10
3. ทดสอบค่าเพาเวอร์แฟกเตอร์และกระแสฮาร์มอนิกส์ของเครื่องประจุแบตเตอรี่แบบตัวประกอบกำลังสูงเทียบกับเครื่องประจุแบตเตอรี่ที่ใช้วงจรเรียงกระแสที่ไม่มีการควบคุม ชี้อ Super10 รุ่น SI2A10
4. ทดสอบสมรรถนะของเครื่องประจุแบตเตอรี่แบบตัวประกอบกำลังสูง

1. ผลการทดสอบสัญญาณต่าง ๆ ของงานวิจัย

1.1. วงจรแก้ไขตัวประกอบกำลังที่ใช้การควบคุมด้วยวงจรแปลงผันแบบบัส

1.1.1. ทดสอบสัญญาณกระแสอ้างอิง

ทดสอบโดยการจ่ายแรงดันไฟฟ้ากระแสสลับ 220 V ให้กับวงจรของเครื่องประจุแบตเตอรี่แบบตัวประกอบกำลังสูง แล้วใช้ Differential Probe ที่มีอัตราส่วนลดทอนแรงดันเท่ากับ 200:1 V ทำการวัดแรงดันตกคร่อมมอสเฟต (V_{DS}) โดยนำสายคิปลวัดสัญญาณสายสีแดงคิปลที่จุดต่อสายไลน์ และสายคิปลวัดสัญญาณสายสีดำคิปลที่ จากนั้นต่อสาย Differential Probe เข้ากับออสซิลโลสโคปชี้อ Tektronix รุ่น TDS 1001B ที่ CH1 โดยตั้งค่า V/div ไว้ที่ 5V/div และ Time/div ตั้งไว้ที่ 2.5ms/div ส่วน CH1 วัดสัญญาณกระแสอ้างอิง โดยที่ใช้หัวคิปลเส้นหนึ่งคิปลไปที่แรงดันเอาต์พุตของวงจรสร้างกระแสอ้างอิงที่อยู่บนบอร์ดควบคุม และใช้หัวคิปลอีกเส้นหนึ่งคิปลที่จุดกราวด์ที่อยู่บนบอร์ดควบคุมซึ่งตั้งค่า V/div ไว้ที่ 2 V/div จากนั้นจะได้สัญญาณตามรูปที่ 4.5



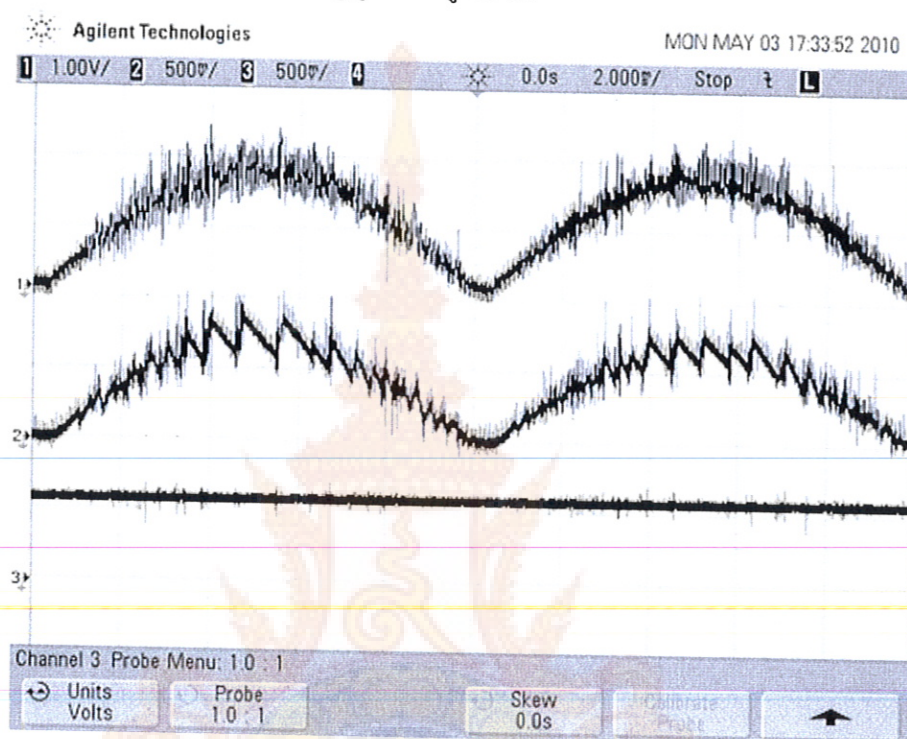
รูปที่4.5 รูปคลื่นแรงดันอินพุต และสัญญาณกระแสอ้างอิง

จากรูปที่4.5 CH1จะเป็นแรงดันอินพุตที่เป็นแรงดันสูงสุด ($V_{(max)}$) เท่ากับ 311V หรือเท่ากับแรงดันอินพุต ($V_{(rms)}$) เท่ากับ 220V และ CH2 จะเป็นสัญญาณกระแสอ้างอิง ซึ่งจากการทดลองจะเห็นว่าสัญญาณกระแสอ้างอิงจะมีรูปคลื่นคล้ายกับสัญญาณเอาต์พุตของวงจรเรียงกระแสแบบเต็มคลื่นและสัญญาณที่ได้จะมีค่าคงที่ซึ่งจะมีแรงดันเอาต์พุตสูงสุดเป็น $2 V_{p-p}$ เพื่อทำหน้าที่เป็นสัญญาณกระแสอ้างอิง

1.1.2. ทดสอบสัญญาณกระแสชดเชยลดเหนี่ยวนำ

ทดสอบโดยการจ่ายแรงดันไฟฟ้ากระแสสลับ 220 V ให้กับวงจรของเครื่องประจุแบตเตอรี่แบบตัวประกอบกำลังสูง แล้วใช้สาย Probe ที่มีค่าคูณ 10 เท่า เป็นตัววัดสัญญาณ โดยการต่อสาย Probe เข้ากับออสซิลโลสโคปยี่ห้อ Agilent Technologies รุ่น DS05014A โดยต่อเข้าไปที่ CH1 เพื่อที่จะทำการวัดสัญญาณกระแสอ้างอิงจะใช้หัวคีบวัดสัญญาณโดยคีบไปที่จุดเอาต์พุตของสัญญาณกระแสอ้างอิงที่อยู่บนบอร์ดควบคุม และหัวคีบอีกเส้นหนึ่งคีบไปที่จุดกราวด์ที่อยู่บนบอร์ดควบคุม แล้วตั้งค่า V/div ไว้ที่ 1V/div และ Time/div ตั้งไว้ที่ 2ms/div ส่วน CH2 วัดสัญญาณกระแสชดเชยลดเหนี่ยวนำใช้หัวคีบเส้นหนึ่งคีบไปที่แรงดันเอาต์พุตของฮอตเซนเซอร์ และหัวคีบอีกเส้นหนึ่งคีบไปที่จุดกราวด์ และตั้งค่าV/div ไว้ที่ 500mV/div และ CH3 วัดสัญญาณแรงดันเอาต์พุตของเครื่องประจุ

แบตเตอรี่ที่ทำการประจุให้กับแบตเตอรี่ โดยที่ใช้ Differential Probe ที่มีอัตราส่วนลดทอนแรงดันเท่ากับ 20:1 V ทำการวัดจากนั้นนำสายคิบบัดสัญญาณสายสีแดงคิบบัดที่ขั้วบวกของแบตเตอรี่ และนำสายคิบบัดสัญญาณสายสีแดงคิบบัดที่ขั้วลบของแบตเตอรี่ จากนั้นต่อสาย Differential Probe เข้ากับออสซิลโลสโคปยี่ห้อ Agilent Technologies รุ่น DS05014A โดยที่ CH3 ตั้งค่า V/div ไว้ที่ 500mV/div และ Time/div ตั้งไว้ที่ 2ms/div จึงได้สัญญาณตามรูปที่ 4.6

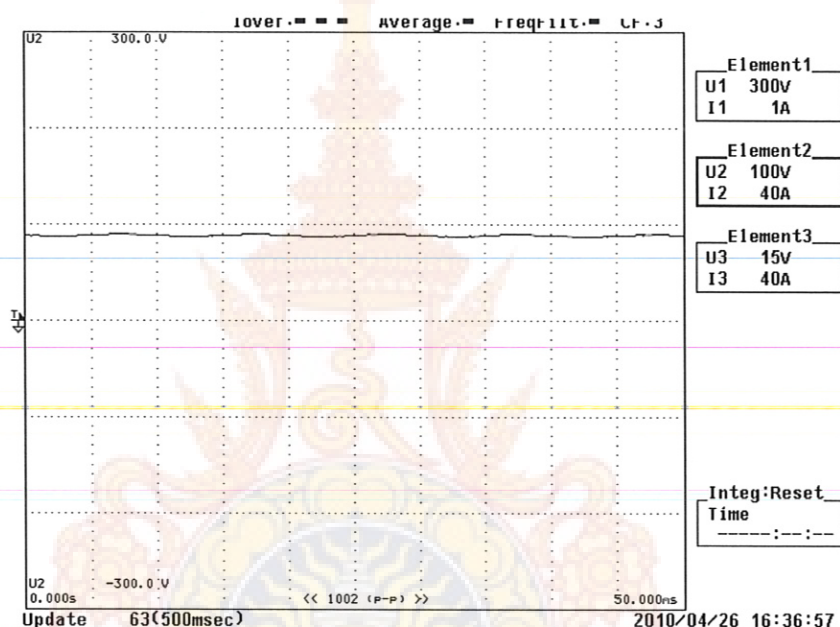


รูปที่ 4.6 รูปคลื่นกระแสอ้างอิง กระแสขดลวดเหนี่ยวนำและแรงดันทางด้านเอาต์พุตของเครื่องประจุแบตเตอรี่แบบตัวประกอบกำลังสูง

จากรูปที่ 4.6 CH1 จะเป็นสัญญาณกระแสอ้างอิงสัญญาณที่ได้จะมีค่าคงที่และ CH2 จะเป็นสัญญาณกระแสที่ขดลวดเหนี่ยวนำ ซึ่งจากผลที่ได้จากการทดลองจะเห็นได้ว่าเมื่อเปรียบเทียบสัญญาณกระแสอ้างอิงและสัญญาณกระแสที่ขดลวดเหนี่ยวนำแล้วจะพบว่าสัญญาณกระแสที่ขดลวดเหนี่ยวนำจะมีลักษณะของรูปคลื่นใกล้เคียงกับสัญญาณกระแสอ้างอิง แต่สัญญาณกระแสที่ขดลวดเหนี่ยวนำจะมีค่าไม่คงที่ จะเปลี่ยนแปลงตามภาระของโหลดและสัญญาณกระแสที่ขดลวดเหนี่ยวนำจะทำหน้าที่ในการเปรียบเทียบกับเอาต์พุตของวงจรสัญญาณ ส่วน CH3 จะเป็นสัญญาณแรงดันทางด้านเอาต์พุตของเครื่องประจุแบตเตอรี่แบบตัวประกอบกำลังสูงที่ส่งไปประจุให้กับแบตเตอรี่ ซึ่งมีค่าคงที่อยู่ที่ 15V

1.1.3. ทดสอบสัญญาณแรงดันเอาต์พุต

ทดสอบโดยการจ่ายแรงดันไฟฟ้ากระแสสลับ 220 V ให้กับวงจรของเครื่องประจุแบตเตอรี่แบบตัวประกอบกำลังสูง แล้วใช้หัวคีบวัดสัญญาณ 2 เส้นคีบไปที่จุดอินพุตของสัญญาณแรงดันทางด้านเอาต์พุตของวงจรบูสต์พีเอฟซี ซึ่งทำหน้าที่เป็นวงจรส่วนหน้าเพื่อปรับปรุงค่าตัวประกอบกำลัง โดยที่เส้นที่หนึ่งคีบที่จุดไลน์ทางด้านเอาต์พุตของวงจรบูสต์ และเส้นที่สองคีบสายสัญญาณไปที่จุดกราวด์ทางด้านเอาต์พุตของวงจรบูสต์ จากนั้นนำสายสัญญาณทั้ง 2 เส้นต่อเข้ากับช่องวัดสัญญาณแรงดันโดยต่อเข้ากับช่องวัดแรงดันช่องที่ 2 (Element 2) ของเครื่องวัด Power Analyzer รุ่น WT500 เพื่อทำการวัดแรงดันทางด้านเอาต์พุตของวงจรแก้ไขตัวประกอบกำลังแบบบูสต์ และได้สัญญาณตามรูปที่ 4.7



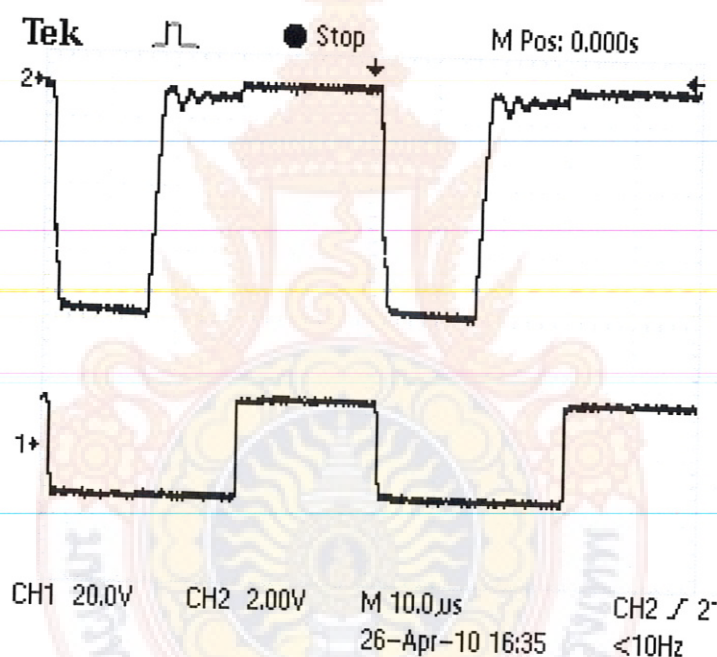
รูปที่ 4.7 แรงดันทางด้านเอาต์พุตของวงจรแก้ไขตัวประกอบกำลังแบบบูสต์

จากรูปที่ 4.7 จะเป็นรูปคลื่นสัญญาณเอาต์พุตของวงจรแก้ไขตัวประกอบกำลังแบบบูสต์ (Boost PFC) จากการทดลองจะเห็นได้ว่าแรงดันทางด้านเอาต์พุตของวงจรบูสต์พีเอฟซีจะทำหน้าที่เพิ่มแรงดันทางด้านอินพุตที่ผ่านวงจรเรียงกระแสซึ่งมีค่าเท่ากับ 60 V_{DC} ให้เป็น 90 V_{DC} คงที่ เนื่องจากในวงจรบูสต์พีเอฟซีมีการควบคุมแบบป้อนกลับ โดยใช้ชุดควบคุมพีไอทำหน้าที่รักษาระดับแรงดันเอาต์พุตของวงจรแก้ไขตัวประกอบกำลังแบบบูสต์ให้คงที่ ก่อนที่จะส่งไปให้กับวงจรส่วนที่สองคือวงจรแปลงไฟฟ้ากระแสตรงเป็นไฟฟ้ากระแสตรงแบบฟลายแบค (Flyback Converter) เพื่อทำการปรับระดับแรงดันให้เหมาะสมกับการประจุแบตเตอรี่ต่อไป

1.2. วงจรแปลงผันไฟฟ้ากระแสตรงเป็นไฟฟ้ากระแสตรงแบบฟลายแบค

1.2.1. ทดสอบสัญญาณแรงดันตกคร่อมเพาเวอร์มอสเฟต

ทดสอบโดยการจ่ายแรงดันไฟฟ้ากระแสสลับ 220 V ให้กับวงจรของเครื่องประจุแบตเตอรี่แบบตัวประกอบกำลังสูง แล้วใช้ Differential Probe ที่มีอัตราส่วนลดทอนแรงดันเท่ากับ 20:1 V ทำการวัดแรงดันตกคร่อมมอสเฟต (V_{DS}) โดยนำสายคีบวัดสัญญาณสายสีแดงคีบที่ขาเดรนของมอสเฟต และสายคีบวัดสัญญาณสายสีดำคีบที่ขาซอร์สของมอสเฟต จากนั้นต่อสาย Differential Probe เข้ากับออสซิลโลสโคปยี่ห้อ Tektronix รุ่น TDS 1001B ที่ CH2 โดยตั้งค่า V/div ไว้ที่ 2V/div และ Time/div ตั้งไว้ที่ $10 \mu\text{s}/\text{div}$ ส่วน CH1 วัดสัญญาณนำขั้วเกิดของมอสเฟต โดยที่ใช้หัวคีบเส้นหนึ่งคีบไปที่แรงดันเอาต์พุตของวงจรนำขั้วเกิด และใช้หัวคีบอีกเส้นหนึ่งคีบที่จุดกราวด์ของวงจรฟลายแบคและตั้งค่า V/div ไว้ที่ 20 V/div จากนั้นจะได้สัญญาณตามรูปที่ 4.8



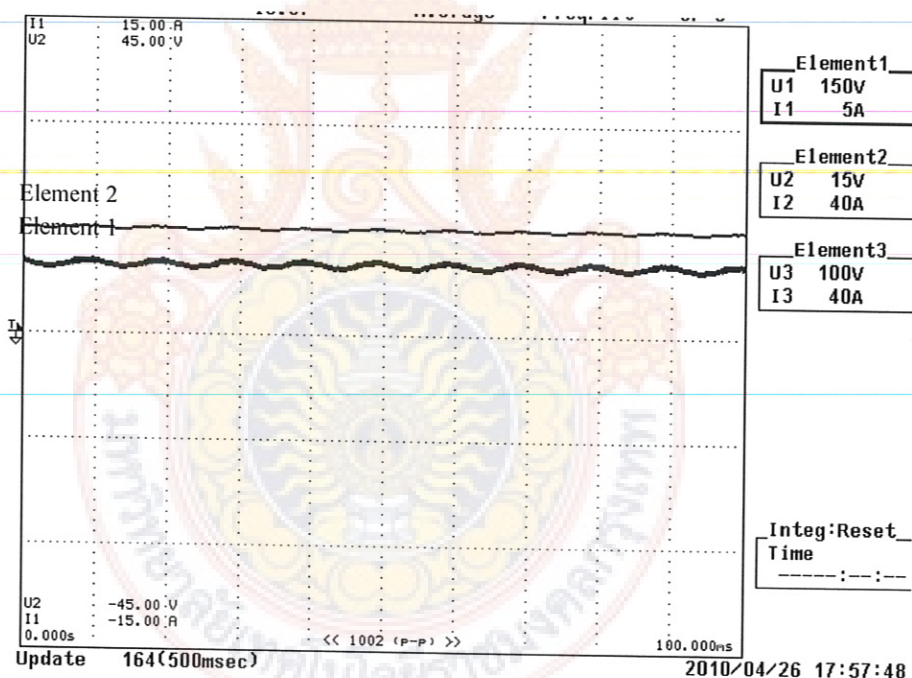
รูปที่ 4.8 รูปคลื่นแรงดันตกคร่อมมอสเฟต และแรงดันนำขั้วเกิด

จากรูปที่ 4.8 CH1 จะเป็นสัญญาณทางด้านเอาต์พุตของวงจรนำขั้วเกิด และ CH2 จะเป็นสัญญาณแรงดันตกคร่อมมอสเฟต จากผลการทดลองจะเห็นได้ว่าการทำงานของมอสเฟตนั้นจะทำงานเมื่อแรงดันที่นำขั้วเกิดเท่ากับ +15 V_{DC} และทำงานที่ความถี่เท่ากับ 20 kHz เท่ากัน

1.2.2. ทดสอบสัญญาณกระแสและแรงดันทางด้านเอาต์พุตขณะเริ่มทำการประจุแบตเตอรี่ และระหว่างที่ทำการประจุแบตเตอรี่

- ทดสอบสัญญาณกระแสและแรงดันทางด้านเอาต์พุตขณะอยู่ระหว่างที่ทำการประจุแบตเตอรี่

ทดสอบโดยการจ่ายแรงดันไฟฟ้ากระแสสลับ 220 V ให้กับวงจรของเครื่องประจุแบตเตอรี่แบบตัวประกอบกำลังสูง แล้วใช้หัวคีบวัดสัญญาณ 2 เส้นคิบบไปที่จุดเอาต์พุตของสัญญาณแรงดันทางด้านเอาต์พุตของวงจรฟลายแบค โดยที่เส้นที่หนึ่งคิบบที่สายไลน์ และเส้นที่สองคิบบสายสัญญาณไปที่สายกราวด์ทางด้านเอาต์พุตของวงจรฟลายแบค จากนั้นนำสายสัญญาณทั้ง 2 เส้นต่อเข้ากับช่องวัดสัญญาณแรงดันโดยต่อเข้าที่ช่องวัดแรงดันช่องที่ 2 (Element 2) ของเครื่องวัด Power Analyzer รุ่น WT500 เพื่อทำการวัดแรงดันทางด้านเอาต์พุตของวงจรฟลายแบค ส่วนการวัดสัญญาณกระแสทางด้านเอาต์พุตของวงจรฟลายแบค จะช่องวัดสัญญาณกระแสช่องที่ 1 (Element 1) ของเครื่องวัด Power Analyzer รุ่น WT500 จากนั้นจะได้สัญญาณตามรูปที่ 4.10

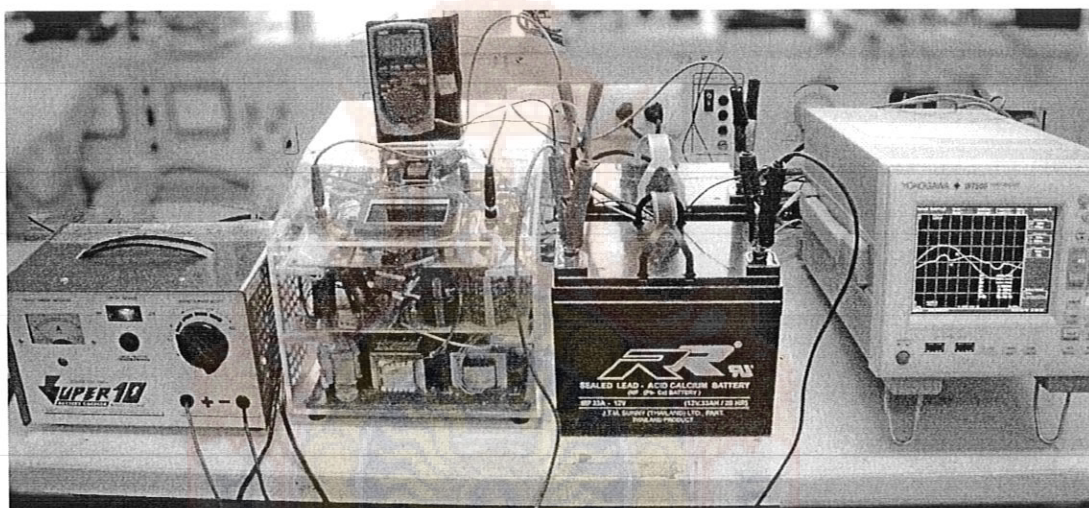


รูปที่ 4.10 รูปคลื่นของแรงดันไฟฟ้าและกระแสไฟฟ้าทางด้านเอาต์พุตของวงจรแปลงผันไฟตรงเป็นไฟตรงแบบฟลายแบค ขณะทำการประจุแบตเตอรี่

จากรูปที่ 4.10 Element 1 เป็นรูปคลื่นของแรงดันไฟฟ้าทางด้านเอาต์พุตของวงจรแปลงผันไฟตรงเป็นไฟตรงแบบฟลายแบค และ Element 2 เป็นรูปคลื่นกระแสไฟฟ้าทางด้านเอาต์พุตของวงจรแปลงผันไฟตรงเป็นไฟตรงแบบฟลายแบค ซึ่งจากผลการทดลองจะสังเกตเห็นได้ว่าแรงดันทางด้านเอาต์พุตจะคงที่อยู่ที่ V_{DC} เท่ากับ 15V และแรงดันนี้จะเป็นแรงดันที่ทำการประจุให้กับแบตเตอรี่โดยกระแสในช่วงระหว่างการประจุจะลดลงจากกระแสในขณะเริ่มการประจุแบตเตอรี่ โดยจะประจุกระแสอยู่ในช่วง 3.3 A ดังแสดงรูปคลื่นไว้ในรูปที่ 4.10

2. ทดสอบสัญญาณกระแสและแรงดันอินพุตของเครื่องประจุแบตเตอรี่แบบตัวประกอบกำลังสูงเทียบกับเครื่องประจุแบตเตอรี่ที่ใช้วงจรเรียงกระแสที่ไม่มีการควบคุม ยี่ห้อ Super10 รุ่น S12A10

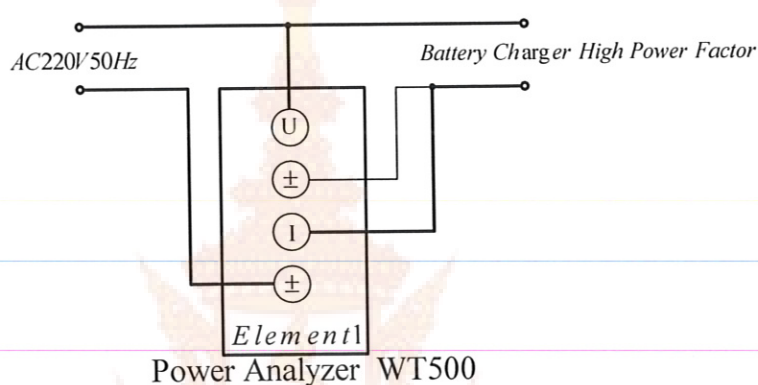
รูปถ่ายจากห้องทดสอบเครื่องประจุแบตเตอรี่แบบตัวประกอบกำลังสูงเทียบกับเครื่องประจุแบตเตอรี่ที่ใช้วงจรเรียงกระแสที่ไม่มีการควบคุมได้ถูกนำเสนออยู่ในรูปที่ 4.11



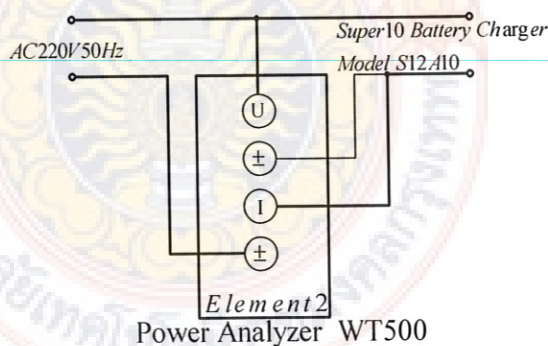
รูปที่ 4.11 รูปถ่ายการทดสอบสัญญาณกระแสและแรงดันอินพุตของเครื่องประจุแบตเตอรี่แบบตัวประกอบกำลังสูงเทียบกับเครื่องประจุแบตเตอรี่แบบเดิมที่ไม่มีการควบคุม ยี่ห้อ Super10 รุ่น S12A10

ในการทดสอบสัญญาณกระแสและแรงดันอินพุตของเครื่องประจุแบตเตอรี่แบบตัวประกอบกำลังสูงเทียบกับเครื่องประจุแบตเตอรี่ที่ใช้วงจรเรียงกระแสที่ไม่มีการควบคุม ยี่ห้อ Super10 รุ่น S12A10 ทดสอบโดยการจ่ายแรงดันไฟฟ้ากระแสสลับ 220 V ให้กับเครื่องประจุแบตเตอรี่แบบตัวประกอบกำลังสูง และเครื่องประจุแบตเตอรี่ที่ใช้วงจรเรียงกระแสที่ไม่มีการควบคุม ยี่ห้อ Super10 รุ่น S12A10 จากนั้นจึงทำการวัดสัญญาณแรงดันและกระแสทางด้านอินพุตของเครื่องประจุแบตเตอรี่ทั้ง

สองแบบ โดยใช้เครื่องวัด Power Analyzer รุ่น WT500 ซึ่งในการวัดสัญญาณแรงดันและกระแสอินพุต ได้แบ่งการวัดออกเป็น 2 Element โดยที่ Element1 ใช้วัดสัญญาณแรงดันและกระแสทางด้านอินพุตของเครื่องประจุแบตเตอรี่แบบตัวประกอบกำลังสูง ซึ่งวิธีการต่อวงจรเพื่อวัดสัญญาณแรงดันและกระแสทางด้านอินพุตของเครื่องประจุแบตเตอรี่แบบตัวประกอบกำลังสูง โดยใช้ Element1 ของเครื่องวัด Power Analyzer รุ่น WT500 ได้ถูกนำเสนอด้วยรูปที่ 4.12 ส่วนการวัดสัญญาณแรงดันและกระแสอินพุตของเครื่องประจุแบตเตอรี่ที่ใช้วงจรเรียงกระแสที่ไม่มีการควบคุม ยี่ห้อ Super10 รุ่น S12A10 เลือกใช้ Element2 ในการวัดสัญญาณ โดยได้นำเสนอวิธีการต่อเพื่อวัดสัญญาณแรงดันและกระแสอินพุต เข้ากับเครื่องวัด Power Analyzer รุ่น WT500 ไว้ในรูปที่ 4.13

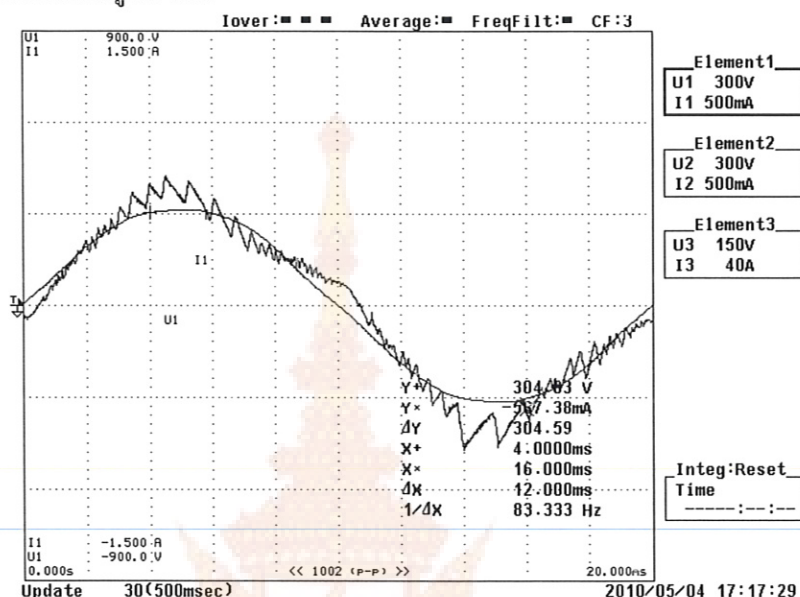


รูปที่ 4.12 วิธีการต่อวงจรเพื่อวัดสัญญาณแรงดันและกระแสอินพุตของเครื่องประจุแบตเตอรี่แบบตัวประกอบกำลังสูงเข้ากับเครื่องวัด Power Analyzer รุ่น WT500

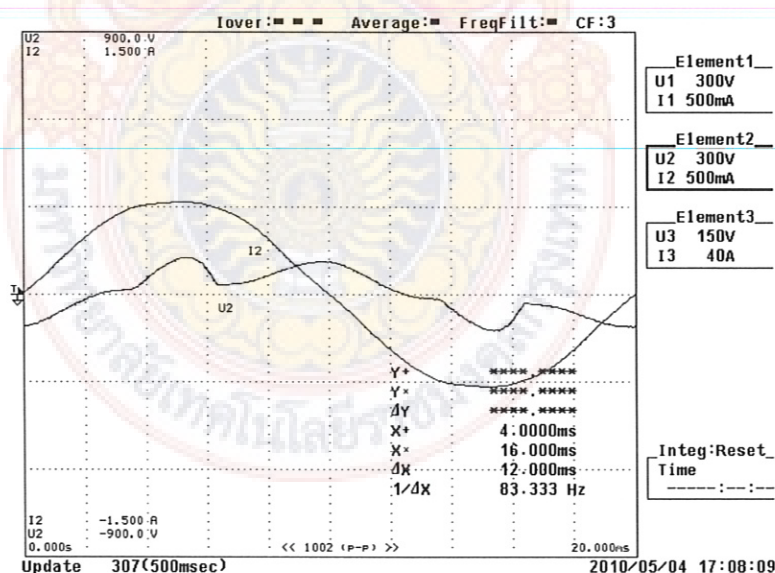


รูปที่ 4.13 วิธีการต่อเพื่อวัดสัญญาณแรงดันและกระแสอินพุตของเครื่องประจุแบตเตอรี่ที่ใช้วงจรเรียงกระแสที่ไม่มีการควบคุม ยี่ห้อ Super10 รุ่น S12A10 เข้ากับเครื่องวัด Power Analyzer รุ่น WT500

ดังนั้นจากการทดสอบจึงได้ผลของสัญญาณแรงดันและกระแสอินพุตของเครื่องประจุแบตเตอรี่แบบตัวประกอบกำลังสูงดังแสดงไว้ในรูปที่ 4.14 ส่วนผลการทดสอบสัญญาณแรงดันและกระแสอินพุตของเครื่องประจุแบตเตอรี่ที่ใช้ วงจรเรียงกระแสที่ไม่มีการควบคุม ยี่ห้อ Super10 รุ่น S12A10 ได้ถูกแสดงไว้ในรูปที่ 4.15



รูปที่ 4.14 สัญญาณแรงดันและกระแสอินพุตของเครื่องประจุแบตเตอรี่แบบตัวประกอบกำลังสูง

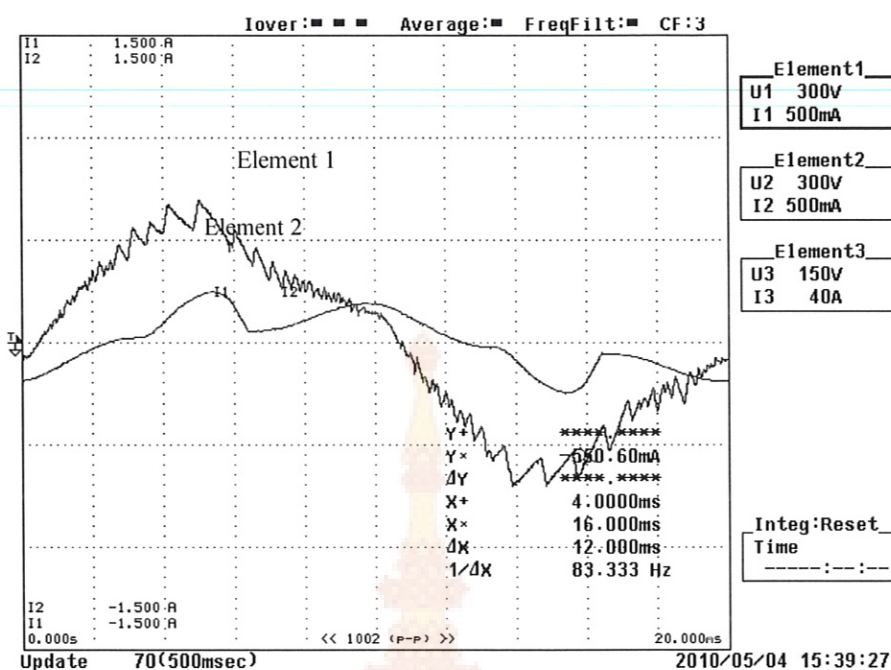


รูปที่ 4.15 สัญญาณแรงดันและกระแสอินพุตของเครื่องประจุแบตเตอรี่ที่ใช้วงจรเรียงกระแสที่ไม่มีการควบคุม ยี่ห้อ Super10 รุ่น S12A10

จากรูปที่ 4.14 เมื่อให้ I_1 คือสัญญาณกระแสอินพุตและ U_1 เป็นสัญญาณแรงดันอินพุตของเครื่องประจุแบตเตอรี่แบบตัวประกอบกำลังสูง ซึ่งจะสังเกตเห็นได้ว่าลักษณะของรูปคลื่นกระแสอินพุต I_1 จะมีลักษณะที่ใกล้เคียงรูปคลื่นไซน์เมื่อเทียบกับสัญญาณแรงดันอินพุต U_1 และสัญญาณกระแสอินพุตอินเฟสกับแรงดันอินพุต ส่วนรูปที่ 4.15 เป็นสัญญาณแรงดันและกระแสอินพุตของเครื่องประจุแบตเตอรี่ที่ใช้วงจรเรียงกระแสที่ไม่มีการควบคุม ยี่ห้อ Super10 รุ่น S12A10 เมื่อให้ I_2 คือสัญญาณกระแสอินพุตและ U_2 เป็นสัญญาณแรงดันอินพุตของเครื่องประจุแบตเตอรี่ที่ใช้วงจรเรียงกระแสที่ไม่มีการควบคุม ยี่ห้อ Super10 รุ่น S12A10 จะสังเกตเห็นได้ว่าลักษณะของรูปคลื่นกระแสอินพุต I_2 จะมีลักษณะที่ผิดเพี้ยนไปจากรูปคลื่นไซน์มากเมื่อเทียบกับสัญญาณแรงดันอินพุต U_2 จึงส่งผลทำให้สัญญาณกระแสอินพุตไม่อินเฟสกับแรงดันอินพุต ความผิดเพี้ยนของลักษณะรูปคลื่นของกระแสทางด้านอินพุตส่งผลทำให้ค่าตัวประกอบกำลังมีค่าต่ำไปด้วย ดังแสดงในหัวข้อการทดสอบเครื่องประจุแบตเตอรี่แบบตัวประกอบกำลังสูง เทียบกับเครื่องประจุแบตเตอรี่ที่ใช้วงจรเรียงกระแสที่ไม่มีการควบคุม ยี่ห้อ Super10 รุ่น S12A10 ต่อไปนี้หัวข้อการทดสอบที่ 3

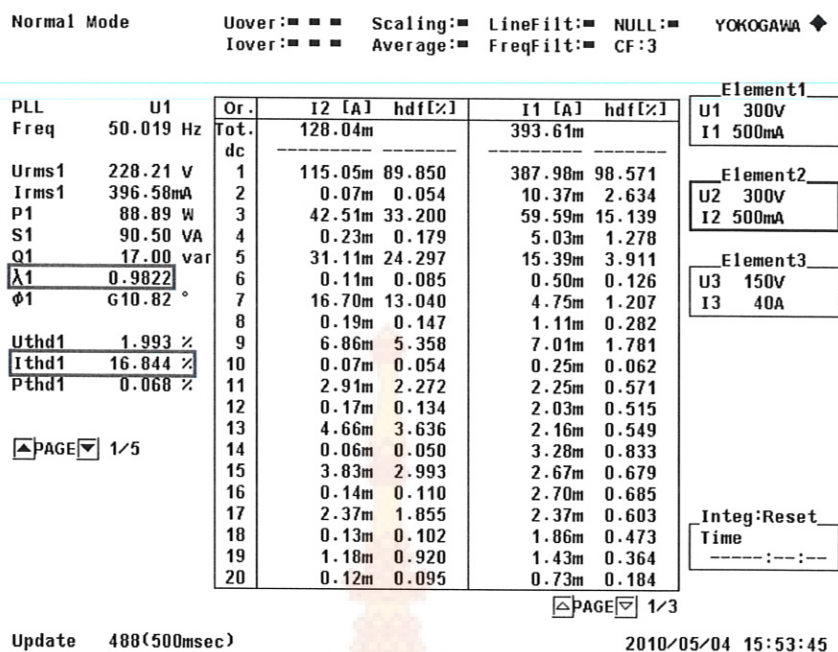
3. ทดสอบค่าเพาเวอร์แฟกเตอร์และฮาร์มอนิกส์ของเครื่องประจุแบตเตอรี่แบบตัวประกอบกำลังสูงเทียบกับเครื่องประจุแบตเตอรี่ที่ใช้วงจรเรียงกระแสที่ไม่มีการควบคุม ยี่ห้อ Super10 รุ่น S12A10

เมื่อสัญญาณกระแสและสัญญาณแรงดันอินพุตมีความผิดเพี้ยนไปจากรูปคลื่นไซน์สมบูรณ์ จะส่งผลทำให้ค่าตัวประกอบกำลังมีค่าต่ำไปด้วย ซึ่งเป็นสาเหตุให้ฮาร์มอนิกส์แพร่กระจายเข้าสู่ระบบส่งจ่ายกำลังไฟฟ้า ดังนั้นจึงอาจกล่าวได้ว่าการควบคุมการแพร่กระจายของฮาร์มอนิกส์เข้าสู่ระบบไฟฟ้านั้น สามารถทำได้โดยการปรับรูปคลื่นกระแสให้มีลักษณะที่เป็นไซน์ ความแตกของลักษณะรูปคลื่นสัญญาณกระแสอินพุต ของเครื่องประจุแบตเตอรี่แบบตัวประกอบกำลังสูงที่ได้นำหลักการของการแก้ไขตัวประกอบกำลัง โดยอาศัยเทคนิคการควบคุมกระแสในวงจรแก้ไขตัวประกอบกำลังที่ใช้วงจรแปลงผันแบบบูสต์ เทียบกับสัญญาณกระแสอินพุตของเครื่องประจุแบตเตอรี่ที่ใช้วงจรเรียงกระแสที่ไม่มีการควบคุม ยี่ห้อ Super10 รุ่น S12A10 ได้ถูกแสดงไว้ในรูปที่ 4.15 ซึ่งเป็นสัญญาณที่ได้จากการทดสอบ ทำการวัดสัญญาณ โดยใช้เครื่อง Power Analyzer รุ่น WT500 ซึ่งใช้ Element1 ทำการวัดสัญญาณกระแสอินพุตของเครื่องประจุแบตเตอรี่แบบตัวประกอบกำลังสูง และตั้งค่า A/div ไว้ที่ 500mA/div และ Time/div ตั้งไว้ที่ 500ms/div ส่วน Element2 ใช้วัดสัญญาณกระแสอินพุตของเครื่องประจุแบตเตอรี่ที่ใช้วงจรเรียงกระแสที่ไม่มีการควบคุม ยี่ห้อ Super10 รุ่น S12A10 โดยตั้งค่า A/div ไว้ที่ 500mA/div จึงได้ผลการทดสอบดังรูปที่ 4.15



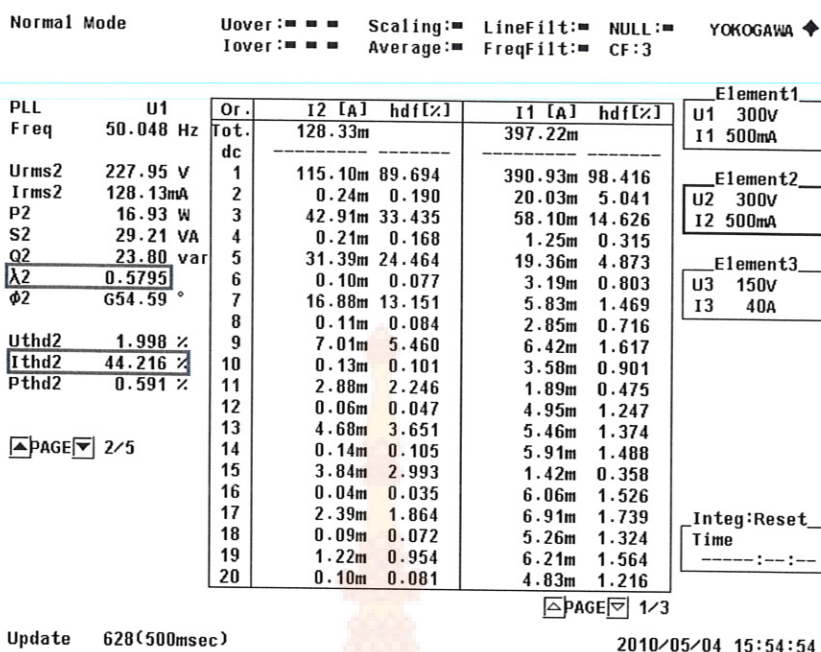
รูปที่ 4.15 กระแสอินพุตของเครื่องประเภทเตอรีแบบตัวประกอบกำลังสูง และกระแสอินพุตของเครื่องประจุแบตเตอรี่ที่ใช้วงจรเรียงกระแสที่ไม่มีการควบคุมยี่ห้อ Super10 รุ่น S12A10

จากรูปที่ 4.15 Element1 คือ กระแสอินพุตของเครื่องประเภทเตอรีแบบตัวประกอบกำลังสูง ซึ่งมีลักษณะที่ใกล้เคียงรูปคลื่นไซน์ ส่วน Element2 เป็นกระแสอินพุตของเครื่องประจุแบตเตอรี่ที่ใช้วงจรเรียงกระแสที่ไม่มีการควบคุมยี่ห้อ Super10 รุ่น S12A10 ซึ่งจะสังเกตเห็นได้ว่ารูปคลื่นกระแสอินพุตมีลักษณะที่ผิดเพี้ยนไปจากไซน์สมบูรณ์มาก ดังนั้นจึงส่งผลทำให้ค่าตัวประกอบกำลังต่ำดังที่ได้แสดงผลการวัดค่าตัวประกอบกำลัง และค่าฮาร์มอนิกสัณฐานต่าง ๆ ตั้งแต่ลำดับที่ 1 ถึงลำดับที่ 20 ของสัญญาณกระแสอินพุตของเครื่องประเภทเตอรีแบบตัวประกอบกำลังสูงดังรูปที่ 4.16 และของกระแสอินพุตของเครื่องประจุแบตเตอรี่ที่ใช้วงจรเรียงกระแสที่ไม่มีการควบคุมยี่ห้อ Super10 รุ่น S12A10 แสดงไว้ในรูปที่ 4.17 ซึ่งทำการวัดโดยเครื่อง Power Analyzer รุ่น WT500 ได้ผลการทดสอบดังนี้



รูปที่4.16 ผลการทดสอบหาค่าตัวประกอบกำลัง (PF or λ_1) และฮาร์มอนิกกระแสอินพุตลำดับต่างๆ ของเครื่องประจุแบตเตอรี่แบบค่าตัวประกอบกำลังสูง (I_1)

จากรูปที่4.16 เมื่อพิจารณา λ_1 ซึ่งเป็นผลการทดสอบหาค่าตัวประกอบกำลัง และ I_{thd1} คือค่าผลรวมของกระแสฮาร์มอนิกทางด้านอินพุตของเครื่องประจุแบตเตอรี่แบบค่าตัวประกอบกำลังสูง ดังนั้นจะสังเกตเห็นได้ว่าเครื่องประจุแบตเตอรี่แบบค่าตัวประกอบกำลังสูง ให้ค่าตัวประกอบกำลัง (λ_1) อยู่ที่ประมาณ 0.98 และผลรวมของกระแสฮาร์มอนิกทางด้านอินพุตอยู่ที่ประมาณ 16.84 %



รูปที่4.17 ผลการทดสอบหาค่าตัวประกอบกำลัง (PF or λ_2) และฮาร์มอนิกสักระแสอินพุตลำดับต่างๆ ของเครื่องประจุแบตเตอรี่ที่ใช้วงจรเรียงกระแสที่ไม่มีการควบคุมยี่ห้อ Super10 รุ่น S12A10 (I_2)

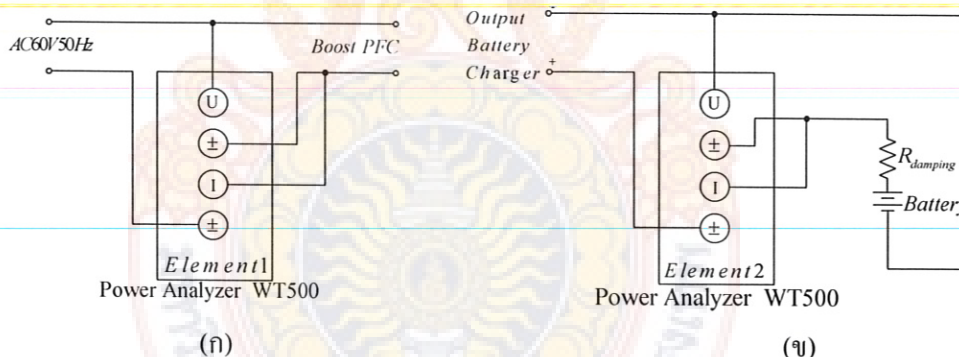
จากรูปที่4.17 เมื่อพิจารณา λ_2 ซึ่งเป็นผลการทดสอบหาค่าตัวประกอบกำลัง และ I_{thd2} คือค่าผลรวมของกระแสฮาร์มอนิกทางด้านอินพุตของเครื่องประจุแบตเตอรี่ที่ใช้วงจรเรียงกระแสที่ไม่มีการควบคุมยี่ห้อ Super10รุ่นS12A10 ดังนั้นจะสังเกตเห็นได้ว่าเครื่องประจุแบตเตอรี่ที่ใช้วงจรเรียงกระแสที่ไม่มีการควบคุมยี่ห้อ Super10รุ่นS12A10 ให้ค่าตัวประกอบกำลัง (λ_2) อยู่ที่ประมาณ 0.58 และผลรวมของกระแสฮาร์มอนิกทางด้านอินพุตอยู่ที่ประมาณ 44.22 %

เมื่อพิจารณาเปรียบเทียบผลการทดสอบหาค่าตัวประกอบกำลังของเครื่องประจุแบตเตอรี่แบบตัวประกอบกำลังสูงและ เครื่องประจุแบตเตอรี่ที่ใช้วงจรเรียงกระแสที่ไม่มีการควบคุมยี่ห้อ Super10รุ่นS12A10 ซึ่งจะเห็นได้ว่าเครื่องประจุแบตเตอรี่ที่ใช้วงจรเรียงกระแสที่ไม่มีการควบคุมยี่ห้อ Super10รุ่นS12A10 จะมีค่าตัวประกอบกำลังอยู่ที่ประมาณ 0.58 ส่วนเครื่องประจุแบตเตอรี่แบบตัวประกอบกำลังสูงนั้นมีค่าตัวประกอบกำลังอยู่ที่ประมาณ 0.98 ดังนั้นจากผลการทดลองจะพบว่าเครื่องประจุแบตเตอรี่แบบตัวประกอบกำลังสูง จะมีค่าตัวประกอบกำลังดีกว่าเครื่องประจุแบตเตอรี่ที่ใช้วงจรเรียงกระแสที่ไม่มีการควบคุมยี่ห้อ Super10รุ่นS12A10 เพราะค่าที่ได้จะมีค่าใกล้เคียงหนึ่งมากกว่าที่สุด

4. ทดสอบสมรรถนะของเครื่องประจุแบตเตอรี่แบบตัวประกอบกำลังสูง

ในการทดสอบสมรรถนะของเครื่องประจุแบตเตอรี่แบบตัวประกอบกำลังสูงนั้น ได้ทำการทดสอบค่ากำลังไฟฟ้าทางด้านเอาต์พุต ค่าตัวประกอบกำลัง ค่าประสิทธิภาพและค่ากระแสฮามอนิกส์ของเครื่องประจุแบตเตอรี่แบบตัวประกอบกำลังสูง

ทดสอบโดยการจ่ายแรงดันไฟฟ้ากระแสสลับ 220V ให้กับเครื่องประจุแบตเตอรี่แบบตัวประกอบกำลังสูง และใช้เครื่อง Power Analyzer รุ่น WT500 ทำการวัดสัญญาณแรงดันและกระแสทั้งทางด้านอินพุตและเอาต์พุต ของเครื่องประจุแบตเตอรี่แบบตัวประกอบกำลังสูง เพื่อที่จะทำให้เครื่อง Power Analyzer รุ่น WT500 ทำการอ่านค่าและทำการพล็อตกราฟแสดงผลค่าต่างๆ ซึ่งสามารถทำได้โดยการต่อวงจรเพื่อให้เครื่อง Power Analyzer รุ่น WT500 ทำการวัดค่ากระแสและแรงดันอินพุตของเครื่องประจุแบตเตอรี่แบบตัวประกอบกำลังสูงนั้นสามารถทำการต่อวงจรได้ ดังที่แสดงไว้แล้วในรูปที่ 4.18 (ก) ซึ่งจะสังเกตเห็นว่าในการวัดสัญญาณแรงดันและกระแสทางด้านอินพุตนั้นจะเลือกใช้ Element1 ในการวัดสัญญาณแรงดันและกระแสไฟฟ้าที่ผ่านหม้อแปลง 220V/60V แล้วจ่ายเป็นแรงดันอินพุตให้กับวงจรแก้ไขตัวประกอบกำลัง ส่วนการวัดสัญญาณแรงดันและกระแสเอาต์พุตของเครื่องประจุแบตเตอรี่แบบตัวประกอบกำลังไฟฟ้าสูงนั้นใช้ Element2 โดยมีการต่อวงจรดังได้แสดงไว้ในรูปที่ 4.18 (ข)

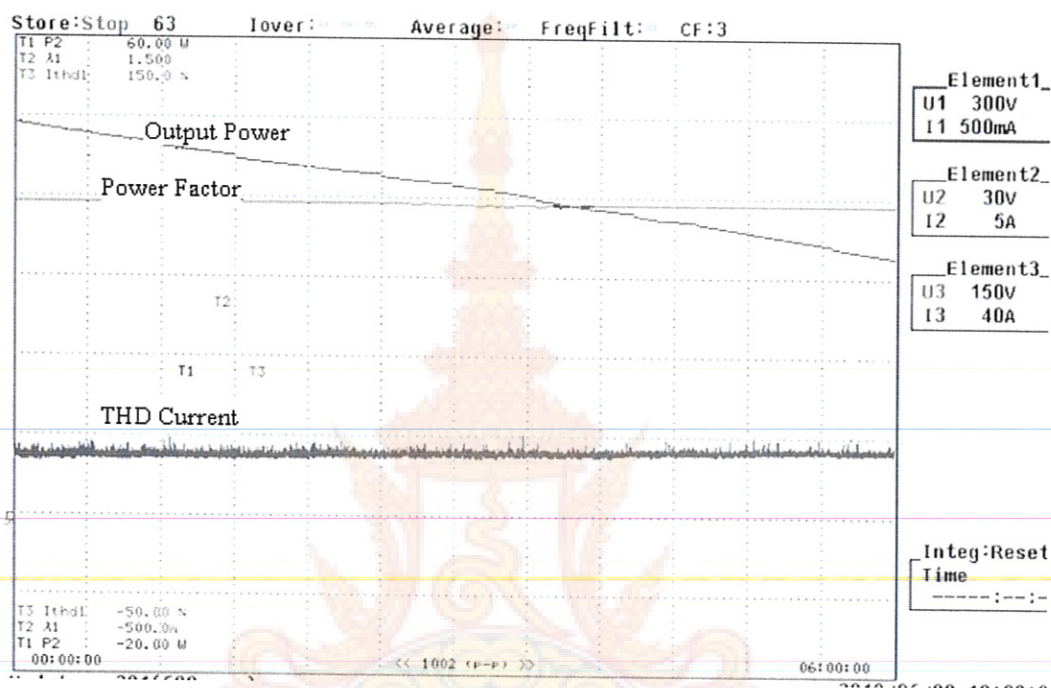


รูปที่ 4.18 วิธีการต่อวงจรเพื่อวัดสัญญาณแรงดันและกระแสเอาต์พุตของเครื่องประจุแบตเตอรี่แบบตัวประกอบกำลังสูงเข้ากับเครื่อง Power Analyzer รุ่น WT500

จากนั้นกำหนดค่าพารามิเตอร์ให้เครื่อง Power Analyzer รุ่น WT500 ทำการเก็บข้อมูลตั้งแต่วเวลาเริ่มกระบวนการประจุแบตเตอรี่จนถึงเวลาที่ทำการประจุแบตเตอรี่เสร็จ ได้ข้อมูลตามตารางที่ 4.1

จากการทดสอบสมรรถนะของเครื่องประจุแบตเตอรี่แบบตัวประกอบกำลังสูงได้ทำการทดสอบตามตารางที่ 4.1 เพื่อให้สะดวกในการวิเคราะห์ จึงตั้งโมดูลเก็บค่าต่างๆตลอดระยะเวลาการ

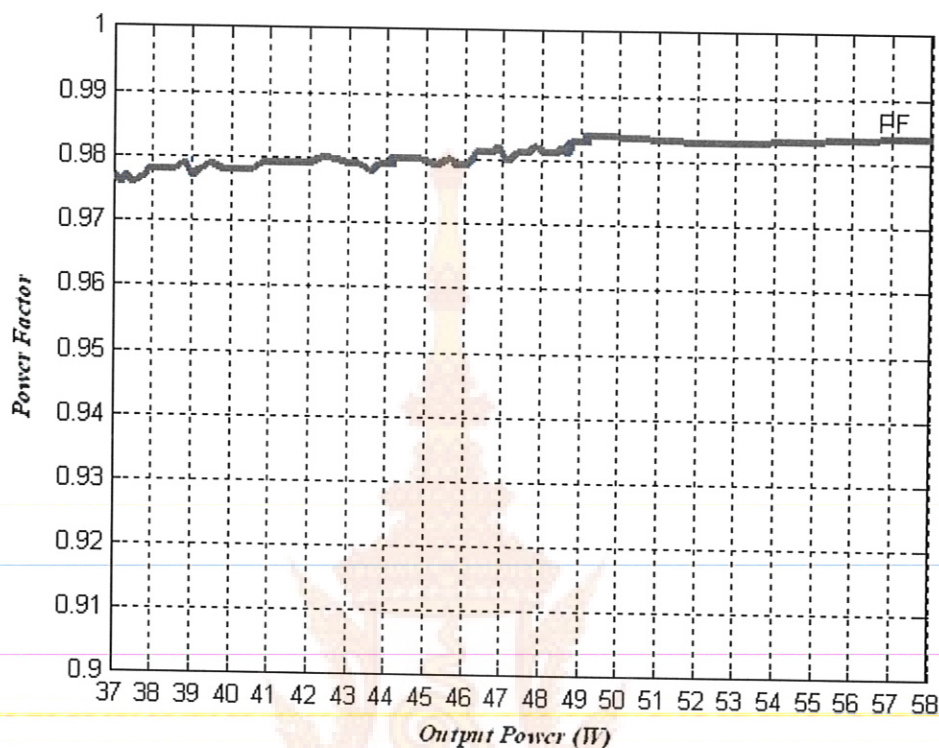
ประจุแบตเตอรี่ให้กับเครื่อง Power Analyzer รุ่น WT500 โดยตั้งค่าให้เก็บบันทึกค่าและรายงานผลในทุก ๆ 5 นาที ดังนั้นจึงได้ผลกราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่าง กำลังไฟฟ้าเอาต์พุต (P_{out}) ค่าตัวประกอบกำลัง (Power Factor) กระแสฮาร์โมนิกส์ (THD Current) เทียบกับเวลา (Time) ที่ทำการประจุแบตเตอรี่ ดังได้แสดงไว้ในรูปที่ 4.19



รูปที่ 4.19 กำลังไฟฟ้าเอาต์พุต (P_{out}) ค่าตัวประกอบกำลัง (Power Factor) กระแสฮาร์โมนิกส์ (THD Current) เทียบกับเวลา (Time) ที่ทำการประจุแบตเตอรี่ ของเครื่องประจุแบตเตอรี่แบบตัวประกอบกำลังสูง

จากรูปที่ 4.19 เมื่อเครื่องประจุแบตเตอรี่แบบตัวประกอบกำลังสูงเริ่มทำงานจะให้กำลังไฟฟ้าทางด้านเอาต์พุตอยู่ที่ประมาณ 50W และเมื่อเวลาเพิ่มขึ้นกำลังไฟฟ้าทางด้านเอาต์พุตก็จะลดลงในอัตราส่วนที่คงที่ เมื่อเวลาผ่านไปทุกๆ 5 นาที ส่วนค่าตัวประกอบกำลังจะมีค่าคงที่อยู่ที่ประมาณ 0.98 และค่ากระแสฮาร์โมนิกส์สูงสุดอยู่ที่ 21% และมีค่ากระแสฮาร์โมนิกส์ต่ำสุดอยู่ที่ 18.9% ตลอดระยะเวลาการประจุแบตเตอรี่ 6 ชั่วโมง

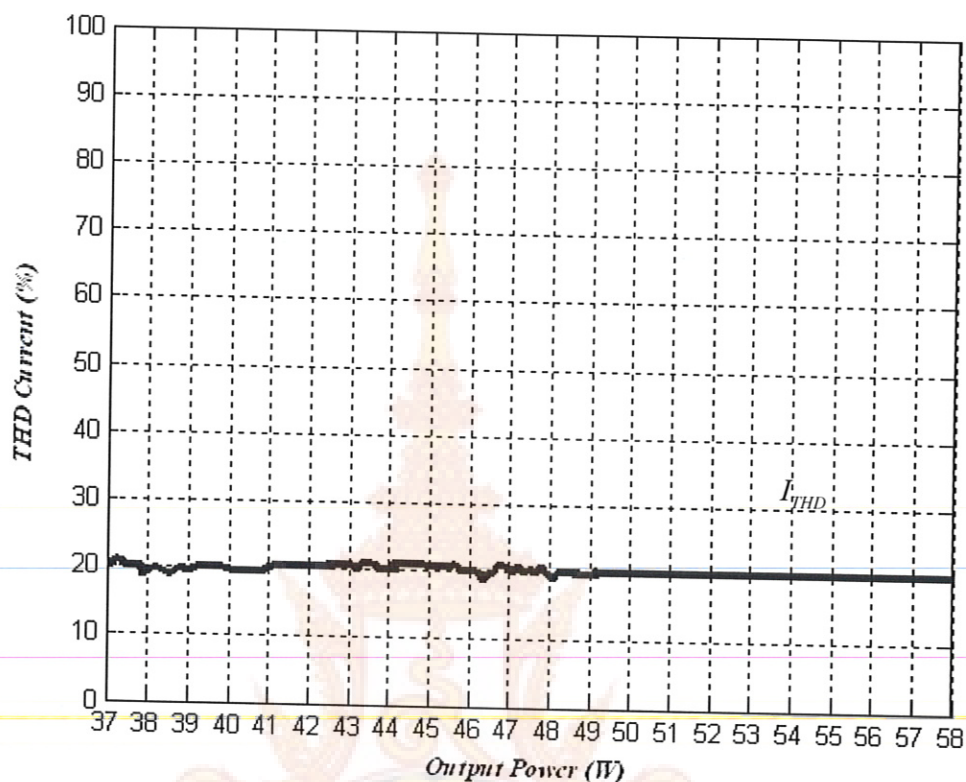
จากผลการทดสอบในตารางที่ 4.1 นำมาเขียนกราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างค่าเพาเวอร์แฟกเตอร์กับกำลังไฟฟ้าเอาต์พุตของเครื่องประจุแบตเตอรี่แบบตัวประกอบกำลังสูง



รูปที่ 4.20 กราฟตัวประกอบกำลัง (Power Factor) ของเครื่องประจุแบตเตอรี่แบบตัวประกอบกำลังสูง

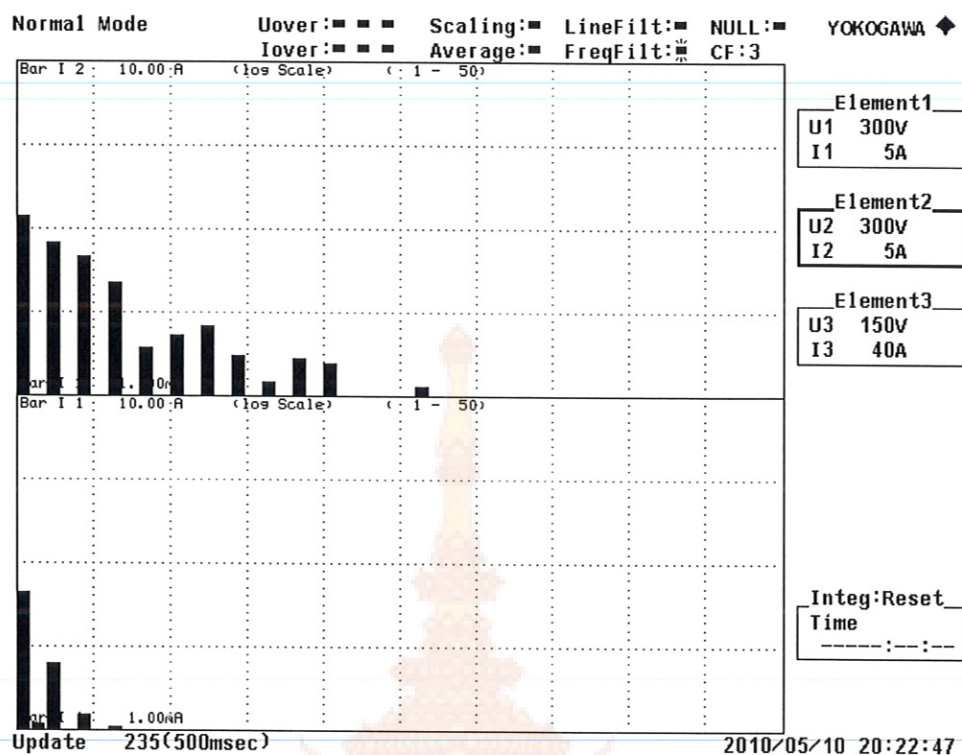
จากรูปที่ 4.20 จะสังเกตเห็นว่าเครื่องประจุแบตเตอรี่แบบตัวประกอบกำลังสูงจะมีค่าตัวประกอบกำลังต่ำสุดอยู่เท่ากับ 0.975 และมีค่าตัวประกอบกำลังสูงสุดอยู่ที่ 0.987 จากกราฟจึงสรุปได้ว่าเมื่อกำลังไฟฟ้าทางด้นเอาต์พุตเพิ่มขึ้นก็จะส่งผลทำให้ค่าตัวประกอบกำลังก็มีค่าที่ใกล้เคียงหนึ่งมากขึ้น

กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างค่ากระแสฮาร์โมนิกส์กับกำลังไฟฟ้าทางด้านเอาต์พุตของเครื่อง
ประจุแบตเตอรี่แบบตัวประกอบกำลังสูง



รูปที่ 4.21 กราฟกระแสฮาร์โมนิกส์ของเครื่องประจุแบตเตอรี่แบบตัวประกอบกำลังสูง

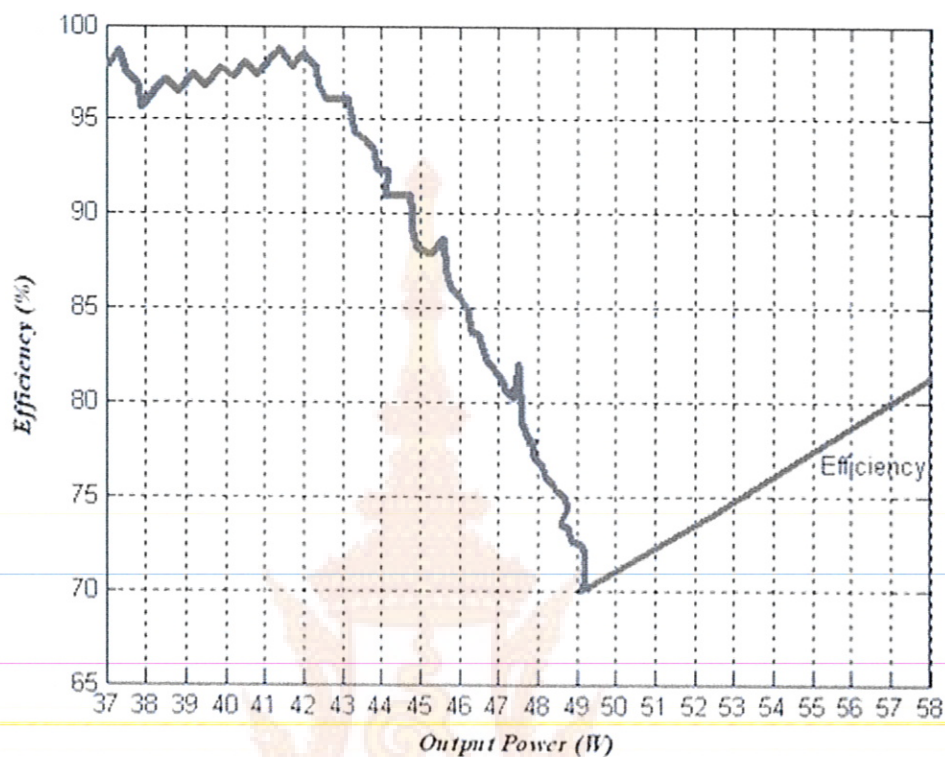
จากรูปที่ 4.21 จะเห็นได้ว่าเครื่องประจุแบตเตอรี่แบบตัวประกอบกำลังสูงจะมีค่าของกระแสฮาร์โมนิกส์โดยเฉลี่ยเท่ากับ 20 % ซึ่งเมื่อเปรียบเทียบกับกระแสฮาร์โมนิกส์ของเครื่องประจุแบตเตอรี่ที่ใช้วงจรเรียงกระแสที่ไม่มีการควบคุมยี่ห้อ Super10 รุ่น S12A10 ในการทดสอบที่ 3 มีค่าเท่ากับ 44.22 % จะสังเกตได้ว่าค่ากระแสฮาร์โมนิกส์ของเครื่องประจุแบตเตอรี่แบบตัวประกอบกำลังสูงน้อยกว่าเครื่องประจุแบตเตอรี่ที่ใช้วงจรเรียงกระแสที่ไม่มีการควบคุมยี่ห้อ Super10 รุ่น S12A10 และสามารถเปรียบเทียบกระแสฮาร์โมนิกส์ได้ดังรูปที่ 4.22



รูปที่ 4.22 ค่ากระแสฮาร์มอนิกส์ (บน) ของเครื่องประจุแบตเตอรี่ที่ไม่มีการควบคุมยี่ห้อ Super10 รุ่น และ (ล่าง) ของเครื่องประจุแบตเตอรี่แบบตัวประกอบกำลังสูง

จากรูปที่ 4.22 จะเห็นได้ว่าค่ากระแสฮาร์มอนิกส์ของเครื่องประจุแบตเตอรี่ที่ใช้วงจรเรียงกระแสแบบไม่มีการควบคุม ยี่ห้อ Super10 รุ่น S12A10 จะมีกระแสฮาร์มอนิกส์มากกว่าเครื่องประจุแบตเตอรี่แบบตัวประกอบกำลังสูง แสดงได้ว่าเครื่องประจุแบตเตอรี่แบบตัวประกอบกำลังสูงสามารถลดกระแสฮาร์มอนิกส์ได้จริง

กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างประสิทธิภาพกับกำลังไฟฟ้าเอาต์พุตของวงจรเครื่องประจุแบตเตอรี่แบบตัวประกอบกำลังสูง



รูปที่ 4.23 กราฟประสิทธิภาพของวงจรเครื่องประจุแบตเตอรี่แบบตัวประกอบกำลังสูง

จากรูปที่ 4.23 จะเห็นได้ว่าวงจรของเครื่องประจุแบตเตอรี่แบบตัวประกอบกำลังสูงจะได้ค่าประสิทธิภาพสูงสุดที่ 98.8% และค่าประสิทธิภาพต่ำสุดที่ 70.0% ค่าประสิทธิภาพเฉลี่ย 86.3%

สรุปผลการวิจัยและข้อเสนอแนะ

5.1 สรุปผลวิจัย

เครื่องประจุแบตเตอรี่โดยทั่วไปที่ใช้วงจรแปลงไฟสลับเป็นไฟตรงที่ประกอบด้วยอุปกรณ์เพียงไดโอดและตัวเก็บประจุ จะทำให้กระแสฮาร์มอนิกส์ทางด้านอินพุตมีค่าสูงเป็นสาเหตุทำให้ตัวประกอบกำลังมีค่าต่ำ ทำให้ระบบส่งจ่ายไฟฟ้ามีประสิทธิภาพลดลง เพื่อแก้ไขปัญหาของตัวประกอบกำลังที่มีค่าต่ำและการแพร่กระจายของฮาร์มอนิกส์ในระบบไฟฟ้าของเครื่องประจุแบตเตอรี่ที่ใช้วงจรเรียงกระแสแบบไม่มีการควบคุม จึงได้ทำงานวิจัย เครื่องประจุแบตเตอรี่แบบค่าตัวประกอบกำลังสูง

ในการสร้างเครื่องประจุแบตเตอรี่แบบค่าตัวประกอบกำลังสูง ได้นำหลักการของการแก้ไขค่าตัวประกอบกำลังที่ใช้วงจรเรียงกระแสต่ออันดับกับวงจรแปลงผันไฟตรง-ไฟตรงแบบบูส โดยใช้ตัวเก็บประจุสำหรับกรองแรงดันทางด้านเอาต์พุตให้เรียบ และใช้วงจรควบคุมประกอบด้วยวงจรสร้างสัญญาณกระแสอ้างอิงที่มีค่าแรงดันเอาต์พุตสูงสุดเป็นสองโวลต์ ส่วนวงจรพีไอจะเป็นตัวตรวจสอบแรงดันเอาต์พุตของภาควงจรกำลังที่เป็นไฟตรง ซึ่งเปรียบเทียบกับแรงดันอ้างอิงที่มีค่าเท่ากับ 10 โวลต์ และวงจรจะรักษาระดับแรงดันให้คงที่ ส่วนวงจรควบคุมสัญญาณจะทำหน้าที่คูณสัญญาณกระแสอ้างอิงกับสัญญาณพีไอและเกณฑ์การคูณเป็น 0.1 เท่า ดังนั้นด้านเอาต์พุตมีการคูณด้วยเกณฑ์ 10 เท่า และนำเอาต์พุตไปเข้าวงจรเปรียบเทียบที่รับกระแสเข้ามาจากฮอลล์เซนเซอร์จากนั้นส่งสัญญาณที่เป็นผลลัพธ์เข้าสู่วงจรฮิสเตอร์รีซิสต์เพื่อกำหนดความกว้างของขอบกระแส และกำเนิดสัญญาณพัลส์วิดธ์มอดูเลชั่น ส่งไปให้กับวงจรขับเคลื่อนของเพาเวอร์มอดเฟส เมื่อได้แรงดันทางด้านเอาต์พุตของวงจรแก้ไขตัวประกอบกำลังแบบบูสที่มีค่าคงที่แล้ว สัญญาณก็จะถูกส่งไปให้กับวงจรแปลงผันแบบฟลายแบค เพื่อลดระดับแรงดันให้เหมาะสมกับการประจุแบตเตอรี่ ในส่วนของวงจรฟลายแบคถูกควบคุมการทำงานโดยไมโครคอนโทรลเลอร์ PIC เบอร์ 16F877A ในการกำหนดสัญญาณพัลส์วิดธ์มอดูเลชั่น เพื่อส่งไปที่วงจรขับเคลื่อนชุดที่สองที่ทำหน้าที่สร้างสัญญาณไปทริกซ์ที่ขาเกตของสวิตช์เพาเวอร์มอดเฟส ซึ่งออกแบบให้วงจรฟลายแบคทำงานที่ความถี่ 20 กิโลเฮิรตซ์ และควบคุมการทำงานโดยการตัดต่อวงจร โดยหยุดจ่ายสัญญาณพัลส์วิดธ์มอดูเลชั่น เมื่อเกิดความผิดพลาดขึ้น รวมถึงการใช้ไมโครคอนโทรลเลอร์รับค่าที่ผ่านการแปลงแอนะล็อกเป็นดิจิตอลเข้ามาเพื่อทำการประมวลผล และรายงานสถานะของแบตเตอรี่เมื่อทำการประจุแบตเตอรี่ผ่านจอ Graphic LCD

ผลการดำเนินงานและการทดสอบงานวิจัยเพื่อให้ได้คุณสมบัติการทำงานตามขอบเขตที่ระบุไว้ข้างต้นดังนี้

การทำงานของเครื่องประจุแบตเตอรี่แบบค่าตัวประกอบกำลังสูง ทำงานเป็นแบบประจุด้วยแรงดันคงที่ อยู่ที่ประมาณ 15 โวลต์ และกระแสสูงสุดที่เริ่มประจุเท่ากับ 5.65 แอมป์ ใช้ระยะเวลาในการประจุอยู่ที่ประมาณ 6 ชั่วโมง และให้ค่าตัวประกอบกำลังเท่ากับ 0.98 มีค่ากระแสฮาร์มอนิกส์ (THD Current) เท่ากับ 20% ลดลง 45% เมื่อเทียบกับกระแสฮาร์มอนิกส์ของเครื่องประจุแบตเตอรี่ที่ใช้วงจรเรียงกระแสแบบไม่มีการควบคุมซึ่งเท่ากับ 44.69% และควบคุมการประจุแบตเตอรี่โดยไมโครคอนโทรลเลอร์ รวมถึงการรับค่าแอนาล็อกที่แปลงเป็นดิจิตอลไปประมวลผลและแสดงผลทางจอ Graphic LCD

5.2 ปัญหาที่เกิดขึ้นในระหว่างการทำงานและแนวทางแก้ไข

5.2.1 ปัญหา

ขณะดำเนินงานได้มีปัญหาเกิดขึ้นดังนี้

1. อินดักเตอร์จะมีเสียงดัง
2. แรงดันตกคร่อมสวิตช์ของวงจรฟลายแบคมีค่าสูงเมื่อรวมกับประจุแรงดันที่ตัวเก็บประจุทางด้านเอาต์พุตของวงจรแก้ไขตัวประกอบกำลังแบบบูส จึงมีผลทำให้มีผลทำให้เกิดการกระชากของกระแสเนื่องจากประจุของแรงดันสองแหล่งนี้รวมกัน ในขณะที่เปิดเครื่อง

5.2.2 แนวทางการแก้ปัญหา

ปัญหาที่เกิดขึ้นระหว่างการทำงานวิจัยและมีวิธีการแก้ไขเรียงตามหัวข้อดังนี้

1. พั่นขดลวดของอินดักเตอร์ให้แน่น
2. เขียนโปรแกรมสั่งให้หน่วงเวลาในการทำงานเชื่อมต่อกันระหว่างวงจรแก้ไขตัวประกอบกำลังแบบบูสและวงจรแปลงผันแบบฟลายแบค หลังจากทำการเปิดเครื่องไปแล้ว 5 วินาที โดยใช้ไตรแอกทำหน้าที่เป็นสวิตช์เชื่อมต่อวงจรทั้งสองเข้าด้วยกัน โดยรับคำสั่งจากไมโครคอนโทรลเลอร์

5.3 ข้อเสนอแนะ

1. ถ้าต้องการกำลังทางด้านเอาต์พุตสูงขึ้น เพื่อทำการประจุแบตเตอรี่ครั้งละหลายๆ เซลล์ ควรเลือกใช้วงจรที่มีขีดจำกัดทางด้านกำลังไฟฟ้าเอาต์พุต มากกว่าวงจรแปลงผันแบบฟลายแบค เช่น วงจรแปลงผันแบบซุก เป็นต้น
2. หลักการของวงจรแก้ไขตัวประกอบกำลังที่ได้เสนอในงานวิจัยนี้ สามารถนำไปประยุกต์ใช้กับการแก้ไขตัวประกอบกำลังในอุปกรณ์ไฟฟ้าอื่นๆ ได้

บรรณานุกรม

“การเก็บแบตเตอรี่” ม.ป.ป. [ออนไลน์] เข้าถึงได้จาก:

<http://www.bloggang.com/viewdiary.php?id=bookkii&month=01-2009&date=12&group=9&gblog=24>.

คมสัน พักมาก และนิรุช ขอสุข. 2545. เครื่องกรองกำลังไฟฟ้า. โครงการนครศาสตร์อุตสาหกรรม บัณฑิต. คณะครุศาสตร์อุตสาหกรรม สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าพระนครเหนือ.

“เจาะลึกเรื่องแบตเตอรี่ (Batteries)” ม.ป.ป. [ออนไลน์] เข้าถึงได้จาก:

<http://www.hondaloverclub.com/forums/archive/index.php/t-51.html>.

ช.การไฟฟ้า & แบตเตอรี่. 2552. “โครงสร้างแบตเตอรี่ กรด-ตะกั่ว” [ออนไลน์] เข้าถึงได้จาก:

<http://www.carbatt.com/index.php?lay=show&ac=article&Id=374164>.

ช.การไฟฟ้า & แบตเตอรี่. 2552. “วิธีการชาร์จแบตเตอรี่ที่ถูกต้อง” [ออนไลน์] เข้าถึงได้จาก:

<http://www.carbatt.com/index.php?lay=show&ac=article&Id=370063>.

ณัฐพล วงศ์สุนทรชัย. เรียนรู้และปฏิบัติการไมโครคอนโทรลเลอร์ PIC16F877. กรุงเทพฯ:

บริษัท อินโนเวตีฟ เอ็กเพอริเมนต์ จำกัด.

ดอนสัน ปงพาบ. 2550. ไมโครคอนโทรลเลอร์ PIC และการประยุกต์ใช้งาน. กรุงเทพฯ: สมาคมส่งเสริมเทคโนโลยี (ไทย-ญี่ปุ่น).

พงศ์เทพ โกศลสมบัติ และสุพล ดันทวีโรจน์. 2548. แหล่งจ่ายไฟฟ้ากระแสตรงแบบสวิตซิงมีการ

ปรับปรุงค่าตัวประกอบกำลัง โดยใช้วงจรแปลงผันแบบฟลายแบค. โครงการนครศาสตร์อุตสาหกรรมบัณฑิต. คณะครุศาสตร์อุตสาหกรรม สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าพระนครเหนือ.

ไพศาล หุ่นแก้ว. 2535. เอกสารประกอบการเรียน วิชา Feedback Control System. คณะครุศาสตร์อุตสาหกรรม สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าพระนครเหนือ.

วีรเชษฐ์ ชันเงิน และวุฒิพล ธาราธิ์เศรษฐ์. อิเล็กทรอนิกส์กำลัง. กรุงเทพฯ: หจก. วี.เจ.พรินติ้ง.

ศุภชัย บุศราทิจ. 2547. “บทความ Guide to PIC16F877 : สถาปัตยกรรมของ PIC16F877 และ 16F84” [ออนไลน์] เข้าถึงได้จาก: <http://www.ett.co.th/article/pic/pic009.html>.

สถิตย์ ทองสีใส และจักรพงษ์ มัดสยะวนิชกุล. 2547. วงจรเรียงกระแสฟอสเดียวที่มีกระแสอินพุต

ใกล้เคียงไซน์. โครงการนครศาสตร์อุตสาหกรรมบัณฑิต. คณะครุศาสตร์อุตสาหกรรม สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าพระนครเหนือ.

บรรณานุกรม (ต่อ)

สมนึก เครือสอน. เครื่องประจุแบตเตอรี่ตัวประกอบกำลังไฟฟ้าสูงสำหรับรถไฟฟ้า ที่สร้างจากชุดอินเวอร์เตอร์. โครงการงานวิศวกรรมศาสตรมหาบัณฑิต. คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีพระจอมเกล้าธนบุรี.

ห้างหุ้นส่วนจำกัด เอส.ที.ยู.ไนเต็ค ชัพพลาย. 2549. “Battery ขอดนิยม แบตเตอรี่ตะกั่วกรด”

[ออนไลน์] เข้าถึงได้จาก:

<http://www.stunitedsupply.com/index.asp?contentID=10000004&title=Battery+%C2%CD%B4%B9%D4%C2%C1+%E1%BA%B5%E0%B5%CD%C3%D5%E8%B5%D0%A1%D1%E8%C7%A1%C3%B4&getarticle=18&keyword=&catid=3>.

อุเทน คำน่าน. 2549. การวิเคราะห์และออกแบบเครื่องแปลงผันไฟฟ้ากระแสสลับเป็นไฟฟ้ากระแสตรง ชนิด 3 เฟส ที่ใช้โมดูลเรียงกระแสแบบชุดด้วยเทคนิคสมมูลกำลังไฟฟ้า.

Alan Dorman. n.d. “Solid State Flasher Basics” [online] Available:

http://www.signindustry.com/electric/articles/2000-11_ALDORtriacexplained.php3.

Huai, Wei. and Batarseh, I. 1998. **Comparison of Basic Converter Topologies for Power Factor Correction.** Southeast Conference.

IEC61000-3-2. 1998. **Electro magnetic Compatibility (EMC) – Part 3-2 : Limits for Harmonic Current Emissions (Equipment Input Current $\leq$ 16A per Phase).** Edition 1.2.

IEC61000-3-2. 2000. **Electro magnetic Compatibility (EMC) – Part 3-2 : Limits for Harmonic Current Emissions (Equipment Input Current $\leq$ 16A per Phase).** Edition 2.

Itturin Ampere. 2010. “แบตเตอรี่เบื้องต้น” [ออนไลน์] เข้าถึงได้จาก: <http://www.nrt2006.com/การเรียกชื่อรุ่นและการวิเคราะห์ชื่อรุ่นของแบตเตอรี่.html>.

Microchip Technology Inc. 2003. “PIC16F87XA DataSheet” [online] Available:

<http://ww1.microchip.com/downloads/en/DeviceDoc/39582b.pdf>.

Microchip Technology Inc. 2009. “PIC16F877A” [online] Available:

<http://www.microchip.com/wwwproducts/Devices.aspx?dDocName=en010242>.

บรรณานุกรม (ต่อ)

Rod Elliott. 2005. "Precision Rectifiers" [online] Available:

<http://sound.westhost.com/appnotes/an001.htm>.

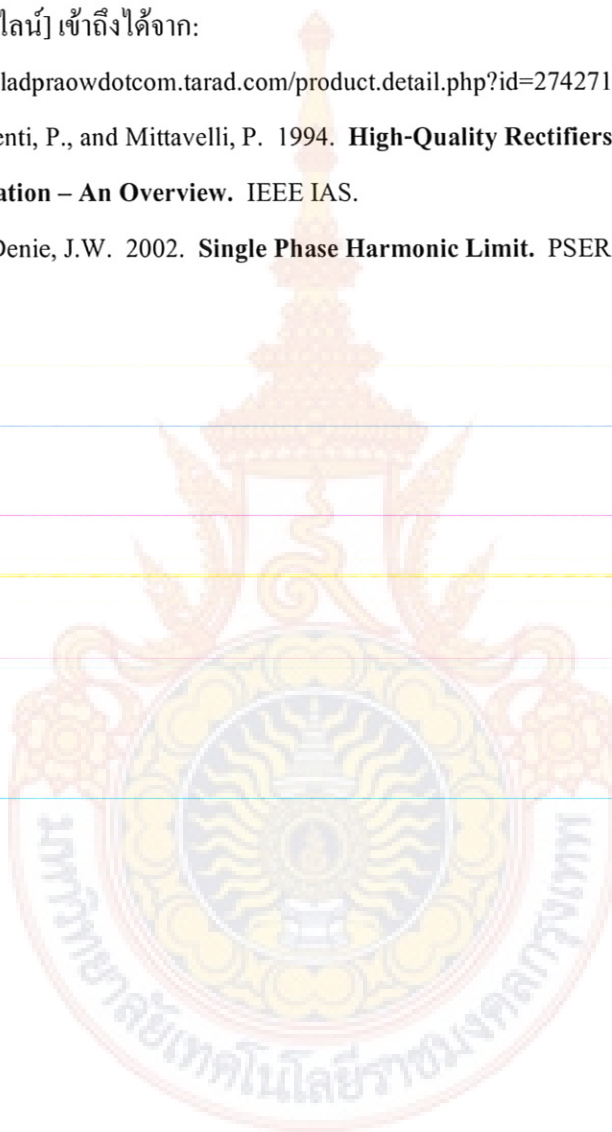
Sangudom Electronics Parts. 2010. "แบตเตอรี่แห้ง RR MP33A-12V (12V 33Ah VRLA)"

[ออนไลน์] เข้าถึงได้จาก:

<http://ladpraowdotcom.tarad.com/product.detail.php?id=2742715>.

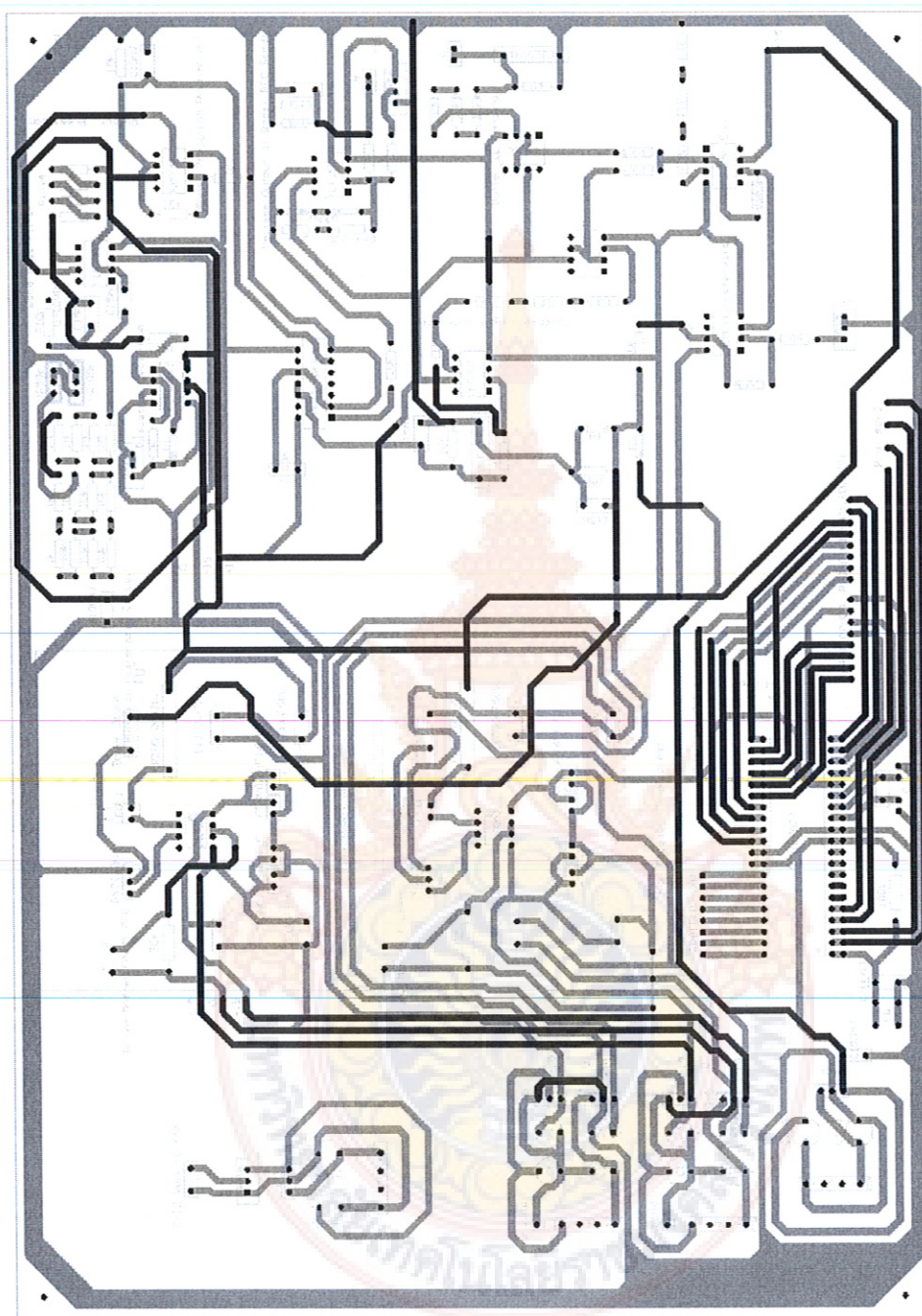
Spiazzi, G., Tenti, P., and Mittavelli, P. 1994. **High-Quality Rectifiers with High Frequency Insulation – An Overview**. IEEE IAS.

Ward, J. and Denie, J.W. 2002. **Single Phase Harmonic Limit**. PSER EMI.

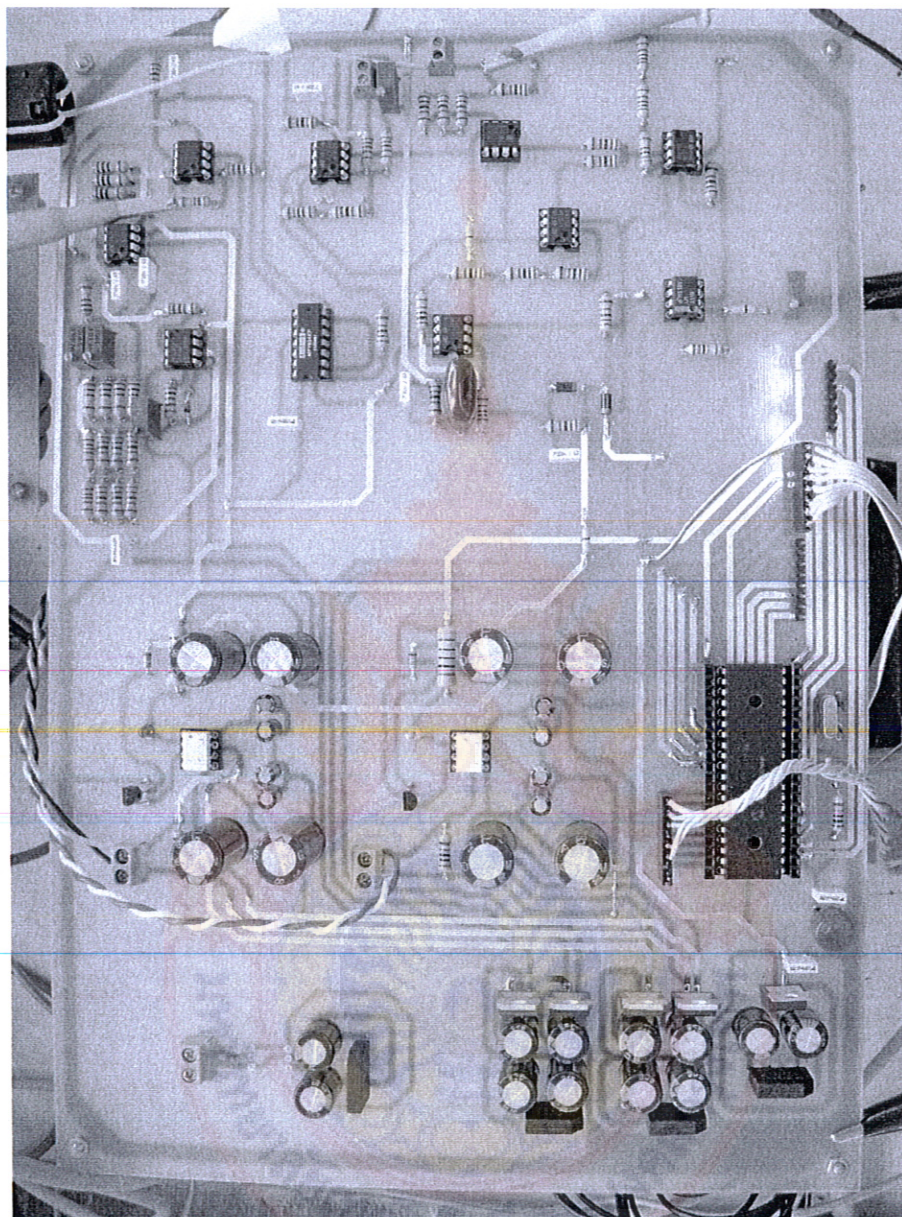


ภาคผนวก ก

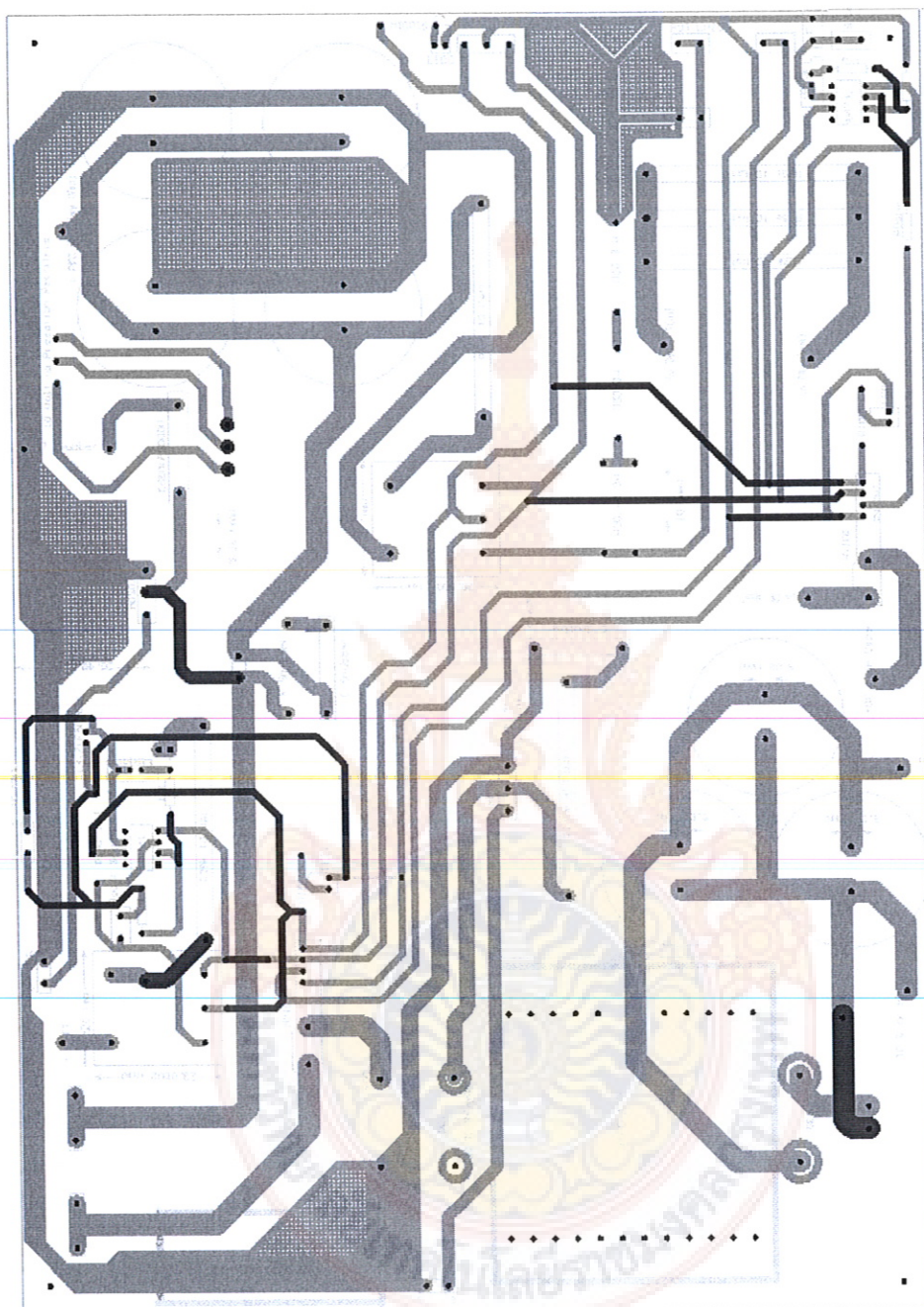




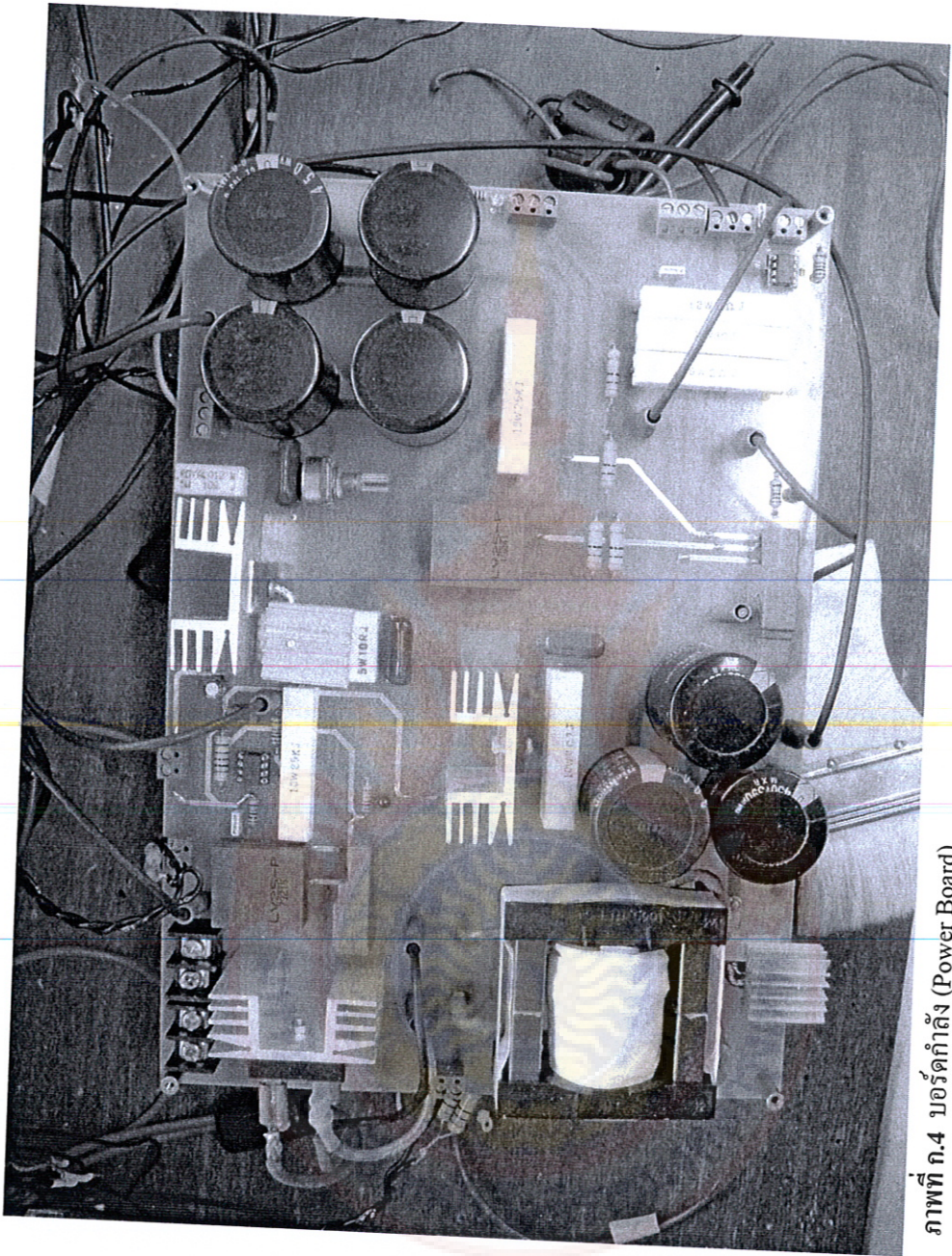
ภาพที่ ก.1 แผงวงจรพิมพ์และตำแหน่งของการวางอุปกรณ์ ของบอร์ดควบคุม (Control Board)



ภาพที่ ก.2 บอร์ดควบคุม (Control Board)



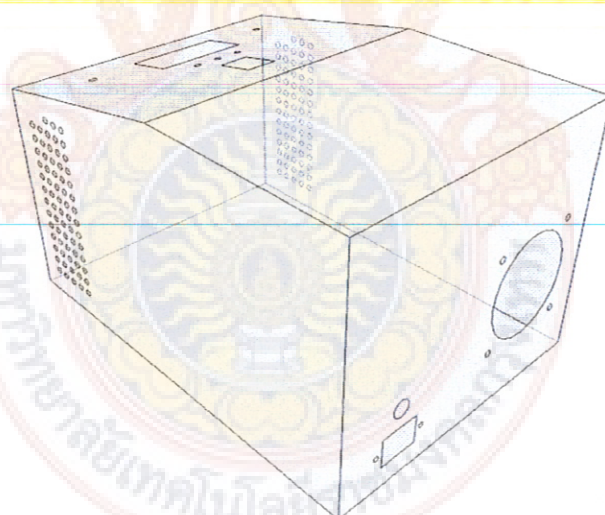
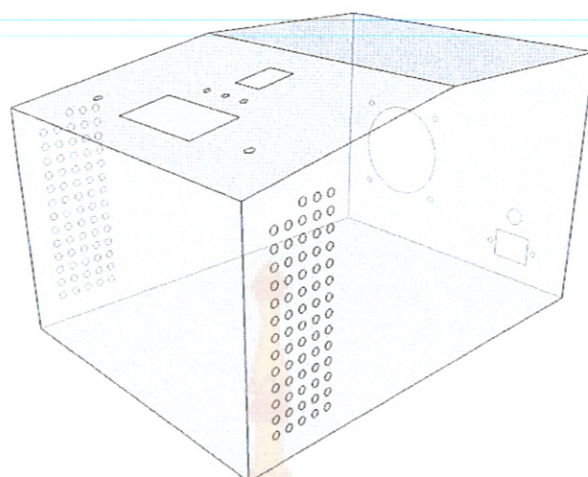
ภาพที่ ก.3 แผ่นวงจรพิมพ์และตำแหน่งของการวางอุปกรณ์ ของบอร์ดกำลัง (Power Board)

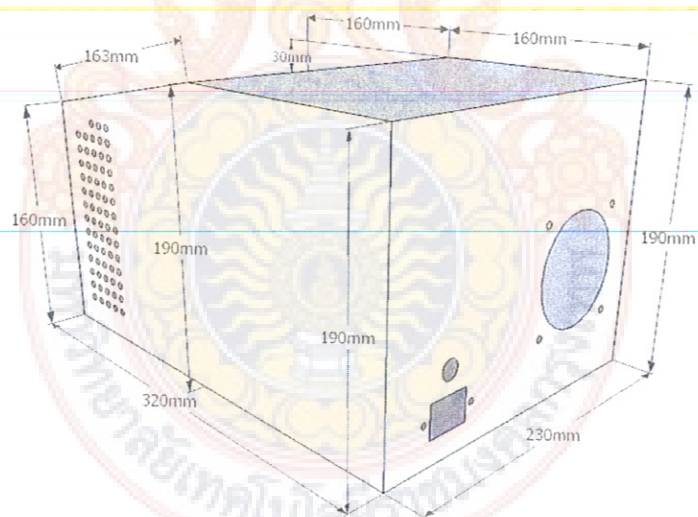
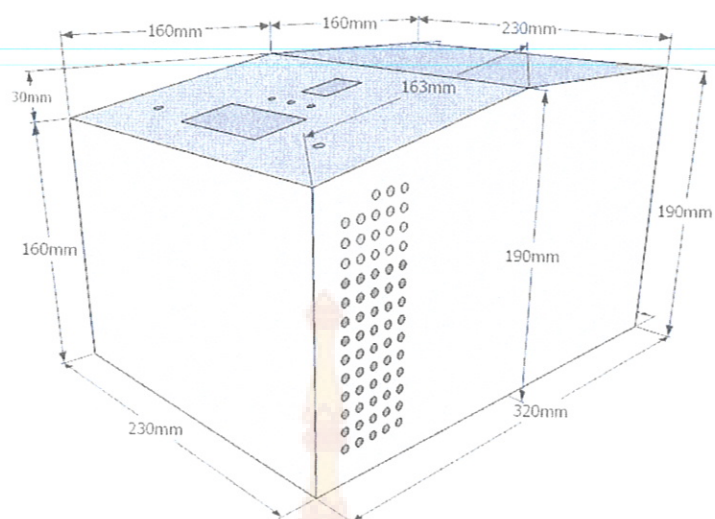


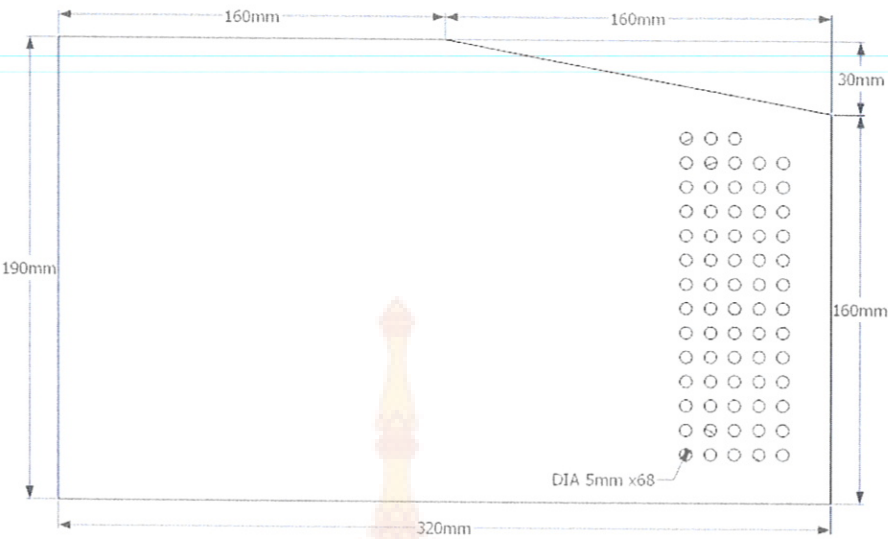
ภาพที่ ก.4บอร์ดกำลัง (Power Board)

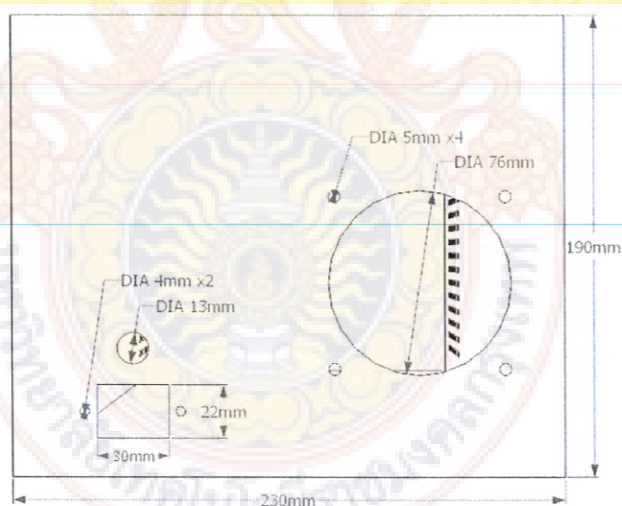
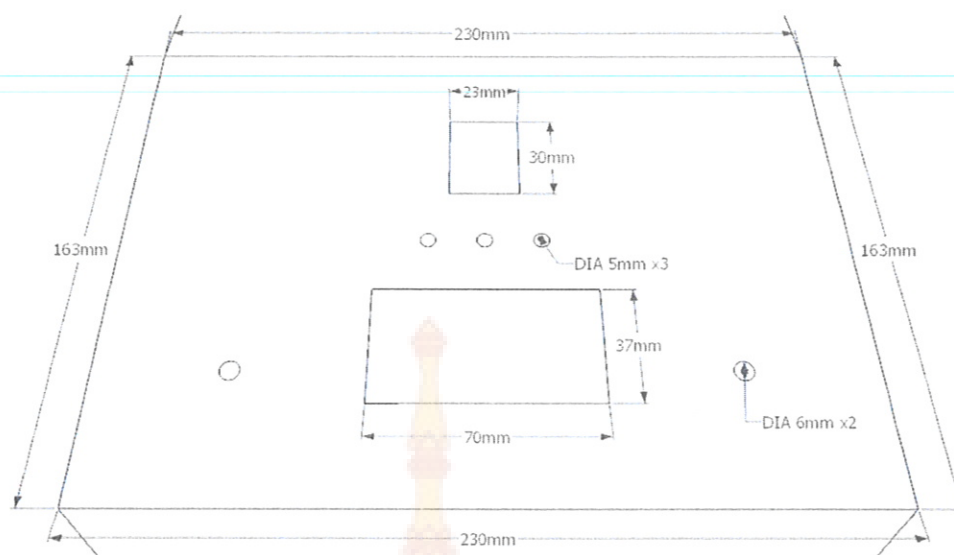
ภาคผนวก ข











ภาคผนวก ค



```

#include    <16F877A.h>

#define     ADC=10

#define     HS, NOWDT, NOPROTECT, NOLVP

#define     delay (clock=20000000)

#include    <ctype.h>

#include    <string.h>

#include    <stdlib.h>

#include    <HDM64GS12.c>

#include    <graphics.c>

#include    <math.h>

```

```

void    BootScreen()
{
    int    boot=47;
    char    BtScr1a[12] = "Battery",
            BtScr1b[12] = "Charger",
            BtScr2a[24] = "Loading",
            BtScr2b[24] = ".";

    GLCD_rect(0,0,127,36,1,1);
    GLCD_text57(3,3,BtScr1a,2,0);
    GLCD_text57(49,20,BtScr1b,2,0);
    GLCD_text57(4,50,BtScr2a,1,1);
    while(boot<=123)
    {
        GLCD_text57(boot,50,BtScr2b,1,1);
        delay_ms(320);
        boot=boot+5;
    }

    GLCD_rect(0,0,127,63,1,0);
    output_high(pin_B7);

```



```

        output_high(pin_C7);
    }

    void PwmSet()
    {
        setup_ccp2(ccp_pwm);
        setup_timer_2(t2_div_by_1, 249, 1);
        set_pwm2_duty(112.5);
    }

    void BatteryCase(Char txt1, Char txt2)
    {
        //Positive Pole
        GLCD_rect(5,0,7,4,1,1);
        GLCD_rect(4,1,8,3,1,1);
        GLCD_rect(6,1,6,3,0,0);
        GLCD_rect(5,2,7,2,0,0);

        //Negative Pole
        GLCD_rect(56,0,58,4,1,1);
        GLCD_rect(55,1,59,3,1,1);
        GLCD_rect(56,2,58,2,0,0);

        //Battery Case
        GLCD_rect(2,4,61,36,0,1);
        GLCD_pixel(4,4,0);
        GLCD_pixel(8,4,0);
        GLCD_pixel(55,4,0);
        GLCD_pixel(59,4,0);

        //Texts
        GLCD_text57(103,9,txt1,1,1);
        GLCD_text57(97,24,txt2,1,1);
    }

```

```
void DisplayVoltage(float V, float Vd, float Vmax, float Vmin, char Chg, char Full)
```

```
{
    char    voltage[9], percent[9];
    sprintf(voltage, "%f", V);
    if(V>Vmax)
        V=Vmax;
    if(V<Vmin)
        V=Vmin;
    sprintf(percent, "%.4f", ((V-Vmin)/Vd)*100);
    voltage[4] = '\0';
    GLCD_rect(68,24,90,30,1,0);
    GLCD_text57(68,24,voltage,1,1);
    percent[4] = '\0';
    GLCD_rect(74,9,97,15,1,0);
    GLCD_text57(74,9,percent,1,1);
}
```

```
void DisplayLevelU(float VM, float Vd, float Vmin)
```

```
{
    if(VM>=Vmin+(Vd*0.05))
        GLCD_rect(4,33,59,34,1,1); //10%
    if(VM>=Vmin+(Vd*0.15))
        GLCD_rect(4,30,59,31,1,1); //20%
    if(VM>=Vmin+(Vd*0.25))
        GLCD_rect(4,27,59,28,1,1); //30%
    if(VM>=Vmin+(Vd*0.35))
        GLCD_rect(4,24,59,25,1,1); //40%
    if(VM>=Vmin+(Vd*0.45))
        GLCD_rect(4,21,59,22,1,1); //50%
    if(VM>=Vmin+(Vd*0.55))
```

```

        GLCD_rect(4,18,59,19,1,1); //60%
    if(VM>=Vmin+(Vd*0.65))
        GLCD_rect(4,15,59,16,1,1); //70%
    if(VM>=Vmin+(Vd*0.75))
        GLCD_rect(4,12,59,13,1,1); //80%
    if(VM>=Vmin+(Vd*0.85))
        GLCD_rect(4,9,59,10,1,1); //90%
    if(VM>=Vmin+(Vd*0.95))
        GLCD_rect(4,6,59,7,1,1); //100%
}

void DisplayLevelD(float VM, float Vd, float Vmax, float Vmin, Char Chg, Char Full)
{
    if(VM>=Vmax)
    {
        //Full Charge
        output_low(pin_B6);
        output_high(pin_E0);
        delay_ms(250);
        GLCD_rect(0,44,127,63,1,0);
        GLCD_text57(4,44,Full,2,1);
        output_low(pin_b3);
        //PWM Set
        set_pwm2_duty(0);
    }
    if(VM<=Vmin+(Vd*0.95))
    {
        if(VM>=Vmin)
        {
            GLCD_rect(0,44,127,63,1,0);
            GLCD_text57(4,44,Chg,2,1);
        }
    }
}

```

```

        PwmSet();
        output_high(pin_b3);
    }
    if(VM<Vmin)
    {
        output_low(pin_b3);
        set_pwm2_duty(0);
    }
}

void main(void)
{
    float    Vb, Vd, Vmax=13.8, Vmin=10.7, V, Vbatt=15, VM=0;
    char     txt1[3] = "%",
            txt2[10] = "Volts",
            Chg[12] = "Charging...",
            Full[12] = "Full Charge",
            ErrBat1[24] = "Battery lower voltage",
            ErrBat2[24] = "Not safe to charge.",
            ErrSht1[24] = "Check your Output!",
            ErrSht2[24] = " * Short or NoBatt * ";

    Vd=Vmax-Vmin;
    output_low(pin_b3);
    output_high(pin_B6);
    glcd_init(on);
    BootScreen();
    setup_adc_ports(ra0_analog);
    setup_adc(adc_clock_internal);
    BatteryCase(txt1,txt2);

```



```

output_low(pin_c1);
output_high(pin_E0);
delay_ms(100);
while(1)
{
    output_high(pin_B6);
    output_low(pin_E0);
    delay_ms(500);
    set_adc_channel(0);
    Vb = read_adc();
    V=Vb*Vbatt/1023;
    if(V>Vmin)
    {
        if(V>VM)
        {
            DisplayVoltage(V,Vd,Vmax,Vmin,Chg,Full);
            VM=V;
        }
    }
    else
    {
        GLCD_rect(3,5,60,35,1,0);
        DisplayVoltage(V,Vd,Vmax,Vmin,Chg,Full);
        VM=0;
    }
    DisplayLevelU(VM,Vd,Vmin);
    DisplayLevelD(VM,Vd,Vmax,Vmin,Chg,Full);
    if(V<Vmin)
    {
        GLCD_rect(0,44,127,63,1,0);
    }
}

```

```
if(V>0.1 && V<Vmin)
{
    GLCD_text57(1,44,ErrBat1,1,1);
    GLCD_text57(1,55,ErrBat2,1,1);
}
if(V<0.1)
{
    GLCD_text57(1,44,ErrSht1,1,1);
    GLCD_text57(1,55,ErrSht2,1,1);
}
}
}
```





PROCEEDINGS VOL. 1

PW : Electrical Power System

PE : Power Electronics

GN : General Research Related to
Electrical Engineering

การประชุมวิชาการทางวิศวกรรมไฟฟ้า ครั้งที่ 33
1-3 ธันวาคม 2553 ณ โรงแรมเซ็นทารา ดวงตะวัน จ.เชียงใหม่

33rd Electrical Engineering Conference

1-3 December 2010, Centara Duangtawan Hotel, Chiangmai, Thailand



ABB **CSG**
SOLUTION

111 ปี นวัตกรรมเพื่อสร้างสรรค์ เป็นปีแห่งวาระการเฉลิมฉลอง

50 ปี คณะวิศวกรรมศาสตร์ สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง

40 ปี คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยเชียงใหม่

20 ปี คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีมหานคร

ภาคผนวก ง

บทความวิชาการ



เครื่องประจุแบตเตอรี่ค่าตัวประกอบกำลังสูงแบบสองภาค

Two-State High Power Factor Battery Charger

พินิจ เทพสาธิต¹ ชาญฤทธิ์ ธาราสันติสุข² สุวิทย์ เส้าเปา² และเอกพันธ์ หาญสัมฤทธิ์²

¹ ภาควิชาวิศวกรรมไฟฟ้า คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยศรีนครินทรวิโรฒ องครักษ์

63 หมู่ 7 ถนนรังสิต-องครักษ์ ตำบลองครักษ์ อำเภองครักษ์ จังหวัดนครนายก

² สาขาวิชาวิศวกรรมไฟฟ้า คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลกรุงเทพ

2 ถนนนางลิ้นจี่ แขวงทุ่งมหาเมฆ เขตสาทร กรุงเทพฯ 10120 โทรศัพท์: 0-22879629 E-mail: chanrit.t@mutk.ac.th

PE 045

บทคัดย่อ

บทความนี้นำเสนอเครื่องประจุแบตเตอรี่แบบค่าตัวประกอบกำลังใกล้เคียงหนึ่งแบบสองภาค โดยมีวงจรแก้ไขตัวประกอบกำลังแบบบัสเป็นวงจรภาคหน้าทำหน้าที่ควบคุมกระแสที่ไหลเข้าให้เป็นรูปคลื่นไซน์และเฟสตรงกับแรงดัน ซึ่งทำให้ตัวประกอบกำลังดีขึ้น และกระแสอาร์มอนิกทางด้านอินพุตมีค่าต่ำ วงจรแปลงผันแบบฟลายแบคในภาคหลังทำหน้าที่ปรับลดระดับแรงดันลงให้เหมาะสมกับการประจุแบตเตอรี่ โดยใช้ PIC เบอร์ 16F877A ควบคุมการประจุแบตเตอรี่ และสร้างสัญญาณพัลส์วิดโมดูเลชันส่งไปที่วงจรขับเคลื่อนของมอเตอร์กำลังและรับค่ากระแสและแรงดันที่ผ่านการแปลงสัญญาณแอนะล็อกเป็นดิจิทัล เข้ามาประมวลผลเพื่อควบคุมการประจุแบตเตอรี่ พร้อมทั้งแสดงผลผ่านจอกราฟิกแบบ LCD จากผลทดสอบเครื่องประจุแบตเตอรี่มีค่าตัวประกอบกำลังใกล้เคียงหนึ่ง เมื่อทำการประจุแบตเตอรี่ 12 V 33 AH ด้วยแรงดันคงที่ 15 V และกระแสสูงสุดที่เริ่มประจุเท่ากับ 5.65 A ใช้ระยะเวลาในการประจุประมาณ 6 ชั่วโมง และมีค่าตัวประกอบกำลังเท่ากับ 0.98 มีฮาร์โมนิกสแคว (THD) เท่ากับ 20% เมื่อเปรียบเทียบกับกระแสอาร์มอนิกของเครื่องประจุแบตเตอรี่แบบเดิมซึ่งมีค่าเท่ากับ 44.69%

คำสำคัญ: วงจรแก้ไขค่าตัวประกอบกำลัง, เครื่องประจุแบตเตอรี่, PIC16F877A

Abstract

This paper presents a nearly unity power factor battery charger. Boost power factor correction circuit in first state controlled input current to improve current harmonics (THD) and Power factor (PF). Flyback dc to dc converter in second state is using to lower voltage for battery charger. Microcontroller PIC 16F877A generated pulse width modulation and displayed charger status via graphic LCD. The experimental results shown that the battery charger have nearly unity power factor. 12 V 33 AH batteries charged with constant voltage 15V and currents up to start a charge equal to 5.65 A. The period of

approximately six hours charged with the 0.98 power factor and 20 % current harmonics (THD). In comparison, with the original battery charger had current harmonics 44.69%.

Keywords: Power Correction Circuit, Battery Charger, PIC16F877A

1. คำนำ

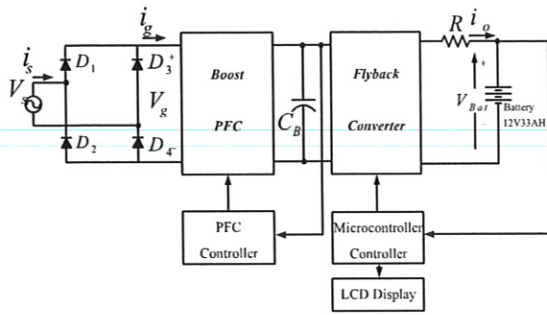
ปัจจุบันเครื่องประจุแบตเตอรี่ทั่วไป จะใช้การควบคุมอย่างง่ายและส่วนประกอบที่ไม่ซับซ้อน ซึ่งในวงจรเครื่องประจุแบตเตอรี่มีการใช้หม้อแปลงขนาดใหญ่และให้ตัวประกอบกำลังไฟฟ้าต่ำ เนื่องจากเครื่องประจุแบตเตอรี่โดยทั่วไปที่ใช้งานต่อเข้ากับระบบจำหน่ายของการไฟฟ้าส่วนใหญ่แล้วจำเป็นต้องมีวงจรเรียงกระแส ซึ่งผลทำให้กระแสอินพุตของวงจรมีลักษณะรูปคลื่นไม่เป็นสัญญาณไซน์ เนื่องจากมีคุณสมบัติของวงจรที่ไม่เป็นเชิงเส้น (Nonlinear Circuit) ส่งผลให้มีปริมาณกระแสฮาร์โมนิกแพร่กระจายเข้าไปในระบบจำหน่ายไฟฟ้าแล้วทำให้เกิดความผิดเพี้ยนของแรงดันขึ้นที่จุดต่อร่วมของระบบ [1] ด้วยเทคนิคของการแก้ไขตัวประกอบกำลังไฟฟ้าแบบแยกที่ไฟแหล่งจ่ายกำลังไฟฟ้าที่ทำงานในโหมดการสวิตชิ่งถูกนำมาใช้เพื่อที่จะปรับปรุงรูปคลื่นกระแสอินพุตให้เป็นสัญญาณไซน์และมีเฟสตรงกับแรงดันอินพุต ดังนั้นค่าตัวประกอบกำลังของระบบสามารถแก้ไขให้มีค่าใกล้เคียงหนึ่งได้ ซึ่งวงจรแก้ไขค่าตัวประกอบกำลังแบบสองภาค (Two-state Boost PFC) เหมาะกับการใช้งานพิกัดที่มากกว่า 100 W [4]

2. ทฤษฎี

2.1 บล็อกไดอะแกรมของระบบ

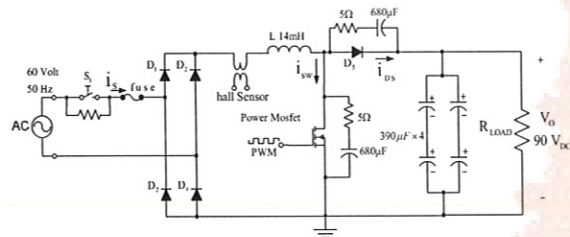
ในรูปที่ 1 แสดงบล็อกไดอะแกรมพื้นฐานของเทคนิคการแก้ไขตัวประกอบกำลังแบบบัสโดยมีการควบคุมวอร์มกระแสแบบฮิสเทอรีซิส และวอร์มแรงดันด้วยตัวควบคุมพีโอเพื่อรักษาระดับแรงดันไฟฟ้ากระแสตรงด้านเอาพุตให้คงที่ [2] ส่วนการประจุแบตเตอรี่จะใช้วงจรฟลายแบคเพื่อลดระดับแรงดัน การป้องกันกระแสเกินและควบคุมการประจุ โดยใช้ไมโครคอนโทรลเลอร์สร้างสัญญาณพัลส์วิดโมดูเลชันและแสดงสถานะการประจุแบตเตอรี่



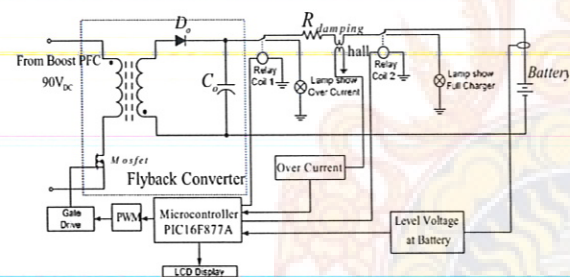


รูปที่ 1 บล็อกไดอะแกรมของเครื่องประจุแบตเตอรี่ที่นำเสนอ

2.2 วงจรแก้ไขค่าตัวประกอบกำลังแบบบัสและฟลายแบค



รูปที่ 2 วงจรแก้ไขค่าตัวประกอบกำลังแบบบัส



รูปที่ 3 วงจรฟลายแบคและควบคุมการประจุ

หลักการทํางานโดยทั่วไปของวงจรแก้ไขค่าตัวประกอบกำลังเฟสเดียว แสดงดังรูปที่ 2 โดยที่ระหว่างแหล่งจ่ายกับตัวเก็บประจุที่มีสักระยะตรงเป็นวงจรบัสคอนเวอร์เตอร์ ที่ประกอบไปด้วยมอสเฟตกำลังไดโอด และตัวเหนี่ยวนำ (L) โดยมอสเฟตกำลังถูกมอดูเลตทางความกว้างพัลส์ด้วยตัวควบคุมกระแสแบบฮิสเทอรีซิส โดย i_L เป็นกระแสที่ไหลผ่านตัวเหนี่ยวนำมีรูปคลื่นเป็นแบบเรียงกระแสเต็มคลื่นขนาดเท่ากับ $|\sin \omega t|$ ซึ่งคล้ายกับรูปคลื่นของ V_s กระแสเหนี่ยวนำดังกล่าวมีค่ากระแสเพี้ยนของค่าดีไซน์ซึ่งสูง สามารถกำจัดออกโดยวงจรกรองกระแสและอินพุต i เป็นรูปคลื่นสัญญาณไซน์ที่มีเฟสตรงกันกับแหล่งจ่าย

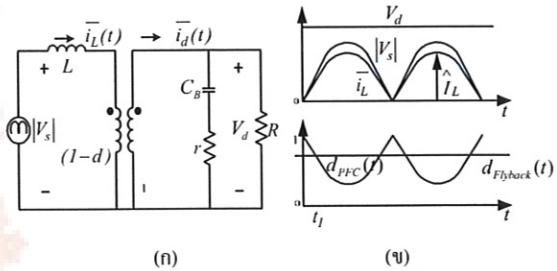
แรงดัน การควบคุมวงจรบัสคอนเวอร์เตอร์ ค่าของแรงดัน V_d ต้องมีค่ามากกว่าแรงดันจากแหล่งจ่าย V_s นั่นคือ

$$V_d > \hat{V}_s \quad (1)$$

รูปที่ 4ก เป็นแบบจำลองเฉลี่ยของวงจรบัสคอนเวอร์เตอร์ที่ไม่พิจารณาแรงดันตกคร่อมตัวเหนี่ยวนำ และสมมติให้แรงดันตกคร่อมตัวเก็บประจุเป็นแรงดันไฟตรง [3] ดังนั้น

$$\frac{V_d}{|V_s|} = \frac{1}{1-d(t)} \quad (2)$$

$$d(t) = 1 - \frac{\hat{V}_s |\sin \omega t|}{V_d} \quad (3)$$



รูปที่ 4 แบบจำลองเฉลี่ยและรูปคลื่นตัวชี้ไขเคล

อัตราส่วนตัวชี้ของแบบจำลองเฉลี่ยแสดงดังรูปที่ 4ข กระแสเอาต์พุต

$\bar{i}_d(t)$ อยู่ในรูปของ $|V_s| = \hat{V}_s |\sin \omega t|$ และ $\bar{i}_L(t) = \hat{I}_L |\sin \omega t|$ หากได้จากหม้อแปลงในอุดมคติ ซึ่งสมการที่ (2) สามารถเขียนใหม่ได้เป็น

$$\bar{i}_d(t) = (1-d)\bar{i}_L(t) = \frac{\hat{V}_s}{V_d} \hat{I}_L |\sin \omega t|^2 \quad (4)$$

$$\bar{i}_d(t) = \underbrace{\frac{1}{2} \frac{\hat{V}_s}{V_d} \hat{I}_L}_{I_d} - \underbrace{\frac{1}{2} \frac{\hat{V}_s}{V_d} \hat{I}_L \cos 2\omega t}_{i_{d2}(t)} \quad (5)$$

วงจรแก้ไขค่าตัวประกอบกำลัง ทางด้านเอาต์พุตมีตัวเก็บประจุขนาดใหญ่ที่ค่ากระพือของฮาร์โมนิกอันดับที่ 2 และ I_d ไหลผ่านโหลดความต้านทาน ค่ากระพือฮาร์โมนิกอันดับที่ 2 ความถี่ 100 Hz ส่วนวงจรฟลายแบคทำหน้าที่ลดระดับแรงดันด้วยอัตราส่วนหม้อแปลงความถี่สูง 10:2 ให้เหมาะสมสำหรับการประจุแบตเตอรี่กรดตะกั่วขนาด 12 V

2.3 ระบบควบคุม

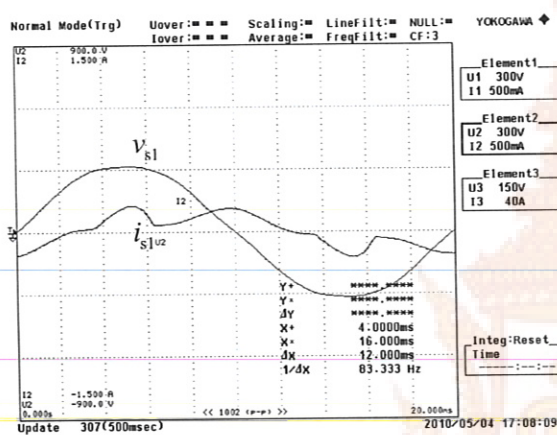
หลักการควบคุมวงจรเพื่อให้กระแสเป็นสัญญาณไซน์ และเฟสตรงกับแหล่งจ่ายแรงดัน กระแสเหนี่ยวนำอ้างอิง $i_L^*(t)$ เป็นรูปคลื่นเรียงกระแสเต็มคลื่นดังรูปที่ 4ข สัญญาณกระแสที่ตัวเหนี่ยวนำ จะส่งสัญญาณมอดูเลตความกว้างพัลส์ ไปยังสวิตช์ของวงจรบัสคอนเวอร์เตอร์ จากวงจรกระแสทำให้สัญญาณ $i_L^*(t)$ เหมือนแหล่งจ่ายแรงดัน $V_s(t)$ วงจรแรงดันทำหน้าที่กำหนดแอมพลิจูด $\hat{I}_L$ โดยใช้การป้อนกลับ ถ้ากระแสเหนี่ยวนำไม่เพียงพอสำหรับจ่ายโหลด แรงดันเอาต์พุตจะลดลง

จนต่ำกว่าแรงดันอ้างอิง V_d^* จึงต้องมีการควบคุมแรงดันด้วยตัวควบคุม
 พิโอเพื่อปรับแอมพลิจูดของกระแสเหนี่ยวนำ สำหรับอ้างอิงกับแรงดัน
 เอคต์พุดและใช้เป็นกระแสอ้างอิงสำหรับตัวควบคุมแบบฮิสเทอรีซิส

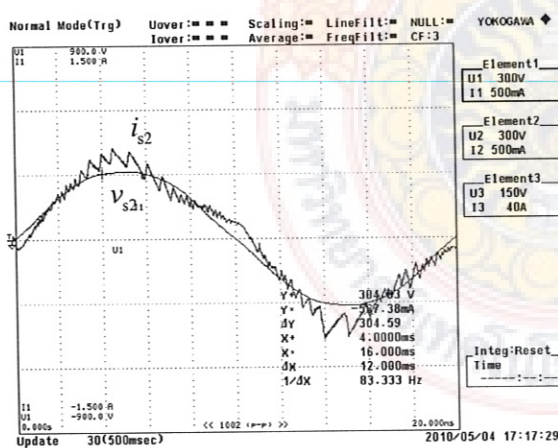
3. ผลการทดลอง

3.1 ทดสอบสัญญาณกระแสและแรงดันอินพุตของเครื่องประจุ แบตเตอรี่แบบค่าตัวประกอบกำลังสูง

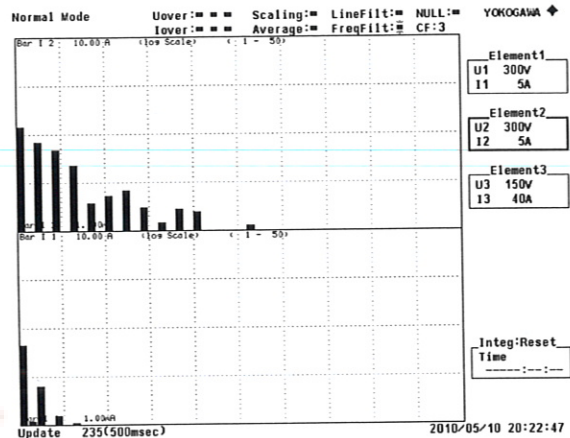
จากการทดสอบได้ผลของสัญญาณแรงดันและกระแสอินพุต
 ของเครื่องประจุแบตเตอรี่แบบค่าตัวประกอบกำลังสูงแสดงไว้ในรูปที่ 5
 ส่วนผลการทดสอบสัญญาณแรงดันและกระแสอินพุตของเครื่องประจุ
 แบตเตอรี่ยี่ห้อ Super10 รุ่น S12A10 ที่ใช้วงจรเรียงกระแสที่ไม่มีการ
 ควบคุมกระแสอินพุตให้เป็นไซน์ แสดงไว้ในรูปที่ 6



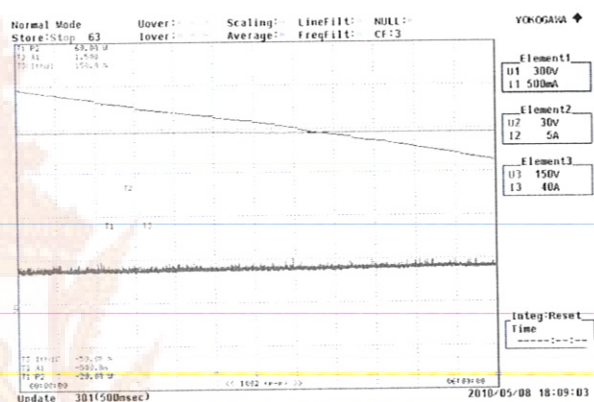
รูปที่ 5 สัญญาณแรงดัน (v_{s1}) และกระแสอินพุต (i_{s1}) ของเครื่องประจุ
 แบตเตอรี่แบบทั่วไปรุ่น S12A10



รูปที่ 6 สัญญาณแรงดัน (v_{s2}) และกระแสอินพุต (i_{s2}) ของเครื่องประจุ
 แบตเตอรี่แบบค่าตัวประกอบกำลังสูง



รูปที่ 7 ค่ากระแสฮาร์มอนิกส (บน) ของเครื่องประจุแบตเตอรี่แบบเดิม
 และ (ล่าง) ของเครื่องประจุแบตเตอรี่แบบค่าตัวประกอบกำลังสูง



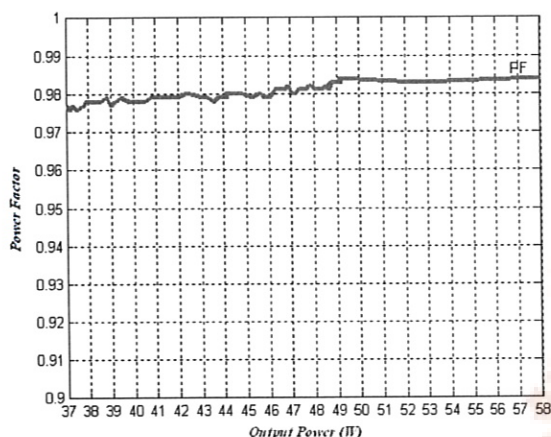
รูปที่ 8 การทดสอบเครื่องประจุแบตเตอรี่แบบค่าตัวประกอบกำลังสูง
 ขณะทำการประจุ

จากรูปที่ 7 จะเห็นได้ว่าค่ากระแสฮาร์มอนิกสของเครื่องประจุ
 แบตเตอรี่ที่ใช้วงจรเรียงกระแสแบบไม่มีการควบคุม ยี่ห้อ Super10 รุ่น
 S12A10 จะมีกระแสฮาร์มอนิกสมากกว่าเครื่องประจุแบตเตอรี่แบบตัว
 ประกอบกำลังสูง การวิเคราะห์ดังโมดูลเครื่อง Power Analyzer รุ่น
 WT500 เก็บค่าต่างๆตลอดระยะเวลาการประจุแบตเตอรี่ โดยตั้งค่าให้เก็บ
 บันทึกค่าและรายงานผลในทุก ๆ 5 นาที ดังนั้นจึงได้ผลการแสดง
 ความสัมพันธ์ระหว่าง กำลังไฟฟ้าเอคต์พุด (T_p) ค่าตัวประกอบกำลัง (T_2)
 ฮาร์มอนิกสของกระแส (T_3) เทียบกับเวลาที่ทำการประจุแบตเตอรี่
 สามารถแสดงได้ในรูปที่ 8

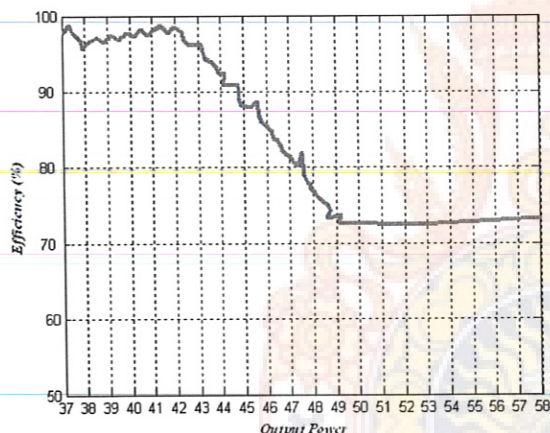


3.2 การทดสอบค่าตัวประกอบกำลังและประสิทธิภาพ

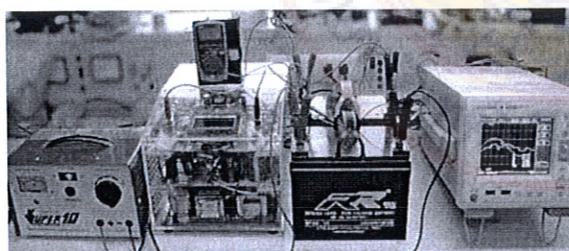
จากผลการทดสอบค่าตัวประกอบกำลังของเครื่องประจุในรูปที่ 9 มีค่าใกล้เคียงหนึ่งในแต่ละช่วงของกำลังไฟฟ้า และในรูปที่ 10 ได้ค่าประสิทธิภาพสูงสุด 98.8% และค่าประสิทธิภาพต่ำสุด 72.4% ค่าประสิทธิภาพเฉลี่ย 87.7%



รูปที่ 9 ค่าตัวประกอบกำลังของเครื่องประจุแบบตัวประกอบกำลังสูง



รูปที่ 10 ประสิทธิภาพเครื่องประจุแบบตัวประกอบกำลังสูง



รูปที่ 11 การทดสอบเปรียบเทียบระหว่างเครื่องประจุแบบตัวประกอบกำลังสูง

4. สรุปผล

ผลการทดสอบเครื่องประจุแบบตัวประกอบกำลังสูงและเครื่องประจุแบบตัวประกอบกำลังต่ำ Super10 รุ่น SI2A10 ซึ่งเครื่องประจุเดิมมีค่าตัวประกอบกำลังเท่ากับ 0.58 ส่วนเครื่องประจุแบบตัวประกอบกำลังสูงมีค่าตัวประกอบกำลังแบบสองภาคที่นำเสนอมีค่าตัวประกอบกำลังเท่ากับ 0.98 ซึ่งมีข้อดีกว่าวงจรแก้ไขค่าตัวประกอบกำลังแบบหนึ่งภาคคือสามารถจ่ายกำลังไฟฟ้าได้สูงกว่า ค่าตัวเก็บประจุ (C_B) ที่เวลาชดเชยกัน และแรงดันไฟฟ้ากระแสสลับด้านอินพุตปรับได้ในช่วงกว้างโดยกระแสอินพุตไม่คิดเพิ่ม

เอกสารอ้างอิง

- [1] P. Tenti and G. Spiazzi, "Harmonic limiting standards and power factor correction techniques", Tutorial in EPE'95
- [2] L. Rossetto, et. Al, "Control techniques for power factor correction converter", PEMC, Sept. 1994, pp 1310-1318.
- [3] R. Ridley, "Average small-signal analysis of boost power factor correction circuit", VEPC, 1989, pp. 108-120.
- [4] J. Zhang M. M. jovanovic and F. C. Lee, "Comparison Between CCM Single-State Boost PFC Converters", APEC, 1999, pp. 335-341.

ประวัติผู้เขียนบทความ



พินิจ เทพสาธร สำเร็จการศึกษาระดับปริญญาตรีและปริญญาโท จากสถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง ปัจจุบันดำรงตำแหน่งผู้ช่วยศาสตราจารย์ประจำภาควิชาวิศวกรรมไฟฟ้า คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยศรีนครินทรวิโรฒ มีความสนใจงานวิจัยด้านไฟฟ้ากำลัง



ชาญฤทธิ์ ธารสันติสุข สำเร็จการศึกษาระดับปริญญาตรีวิศวกรรมศาสตรบัณฑิต จากสถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าพระนครเหนือ และวิศวกรรมศาสตรมหาบัณฑิตจากสถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง มีความสนใจงานวิจัยด้านระบบควบคุม และอิเล็กทรอนิกส์กำลัง

สุวิทย์ เส้าเปา และเอกพันธ์ หาญสัมฤทธิ์ สำเร็จการศึกษาระดับปริญญาตรีวิศวกรรมศาสตรบัณฑิต สาขาวิศวกรรมไฟฟ้า จากมหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลกรุงเทพมีความสนใจงานวิจัยด้านอิเล็กทรอนิกส์กำลังและไมโครคอนโทรลเลอร์

